



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 34 009 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 11 B 5/39**

②1 Aktenzeichen: 199 34 009.9  
②2 Anmeldetag: 20. 7. 1999  
④3 Offenlegungstag: 27. 1. 2000

DE 199 34 009 A 1

③0 Unionspriorität:

10-204756	21. 07. 1998	JP
10-204763	21. 07. 1998	JP
10-204767	21. 07. 1998	JP

⑦1 Anmelder:

Alps Electric Co., Ltd., Tokio/Tokyo, JP

⑦4 Vertreter:

Klunker, Schmitt-Nilson, Hirsch, 80797 München

⑦2 Erfinder:

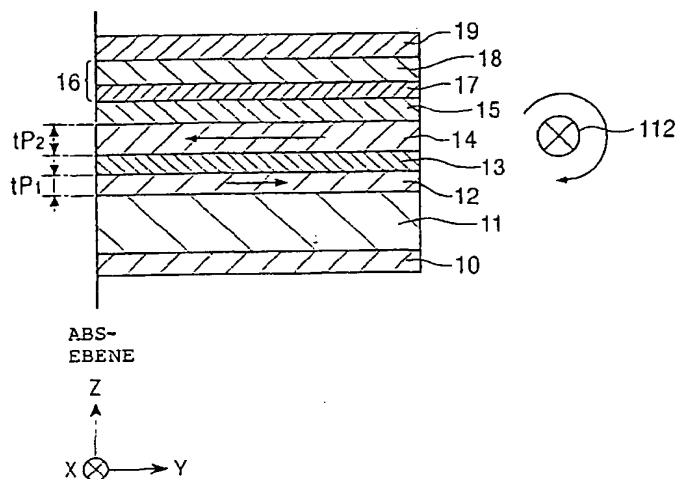
Saito, Masamichi, Nagaoka, Miyagi, JP; Hasegawa,  
Naoya, Nagaoka, Niigata, JP

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom Drehventil-Typ

⑤7 Bei einem Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom "Drehventil"-Typ ist das magnetische Moment einer ersten fixierten magnetischen Schicht größer als dasjenige einer zweiten fixierten magnetischen Schicht, wobei das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht (14) in der Zeichnungsebene nach links weist. Dementsprechend ist das zusammengesetzte magnetische Moment für die erste und die zweite fixierte magnetische Schicht so, daß es in der Zeichnungsebene nach links weist. Wenn man einen Lesestrom dazu bringt, in der Zeichnungsfigur in Richtung X zu fließen, um ein galvanomagnetisches Lesefeld zu erzeugen, welches im Uhrzeigersinn verläuft, so wird hierdurch die Richtung des galvanomagnetischen Lesefelds in Übereinstimmung gebracht mit der Richtung des zusammengesetzten magnetischen Moments, was die Stabilität des Magnetisierungszustands der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht (12, 14) verbessert.



DE 199 34 009 A 1

## 1. Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom "Drehventil"- oder "Spinventil"-Typ, das seinen elektrischen Widerstand nach Maßgabe der Beziehung zwischen der festgelegten Magnetisierungsrichtung einer fixierten magnetischen Schicht und der Magnetisierungsrichtung einer freien magnetischen Schicht, die durch äußere Magnetfelder bestimmt wird, ändert. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom Drehventil-Typ, bei dem die fixierte magnetische Schicht aufgeteilt ist in zwei Schichten, so daß der Ferri-Zustand zwischen den beiden fixierten magnetischen Schichten in einem thermisch stabilisierten Zustand beibehalten werden kann. Die Erfindung betrifft schließlich auch einen Dünnschicht-Magnetkopf mit einem solchen Drehventil-Magnetowiderstands-Dünnschichtelement.

Die Erfindung betrifft außerdem ein Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom Drehventil-Typ, welches seinen elektrischen Widerstand abhängig von der Beziehung zwischen der festgelegten Magnetisierungsrichtung einer fixierten magnetischen Schicht und der Magnetisierungsrichtung einer freien magnetischen Schicht ändert, wobei letztere von äußeren Magnetfeldern beeinflusst wird. Speziell betrifft die Erfindung ein Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom Drehventil-Typ (im folgenden einfach als Magnetowiderstands-Dünnschichtelement oder – wenn kein Zweifel darüber besteht, was gemeint ist – einfach als Magnetowiderstandselement oder Dünnschichtelement bezeichnet), bei dem die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht dadurch in einem noch stärker stabilisierten Zustand gehalten werden kann, daß man einen Lesestrom in eine geeignete Richtung fließen läßt. Schließlich betrifft die Erfindung auch einen Dünnschichtmagnetkopf mit einem solchen Dünnschichtelement.

Die Erfindung betrifft außerdem ein Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom Drehventil-Typ, dessen elektrischer Widerstand sich nach Maßgabe der Beziehung zwischen der festgelegten Magnetisierungsrichtung einer fixierten Magnetschicht und der Magnetisierungsrichtung einer freien magnetischen Schicht ändert, wobei letztere durch äußere Magnetfelder beeinflusst wird. Außerdem geht es um ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Dünnschichtelements, bei dem die Magnetisierungseinstellung oder -steuerung der fixierten magnetischen Schicht mit Hilfe einer geeigneten Einstellung des magnetischen Moments der fixierten magnetischen Schicht erfolgen kann, wobei Richtung und Größe des während einer Wärmebehandlung anzulegenden Magnetfelds ebenfalls eingestellt werden. Die Erfindung schafft schließlich ein Verfahren zum Herstellen eines Dünnschicht-Magnetkopfs mit Hilfe eines solchen Dünnschichtelements.

## 2. Beschreibung des Standes der Technik

Ein Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom Drehventil-Typ ist ein GMR-Element (abgeleitet von giant magnetoresistive, also ein Element mit Riesen-Magnetoresistenzeffekt), welches von dem Riesen-Magnetoresistenzeffekt Gebrauch macht und dazu dient, aufgezeichnete Magnetfelder von Aufzeichnungsträgern, beispielsweise Festplatten oder dergleichen, zu erfassen. Das Magnetowiderstandselement hat verschiedene Vorteile, so zum Beispiel besitzt es einen relativ einfachen Aufbau für ein GMR-Element, und es ändert den Widerstand auch bei schwachen Magnetfeldern.

In seiner einfachsten Form besteht das Magnetowiderstandselement aus einer antiferromagnetischen Schicht, einer fixierten magnetischen Schicht, einer nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht und einer freien magnetischen Schicht. Fig. 28 ist eine Querschnittsansicht eines bekannten Magnetowiderstands-Dünnschichtelements vom Drehventil-Typ, betrachtet von der Seite gegenüber einem Aufzeichnungsträger.

Fig. 29 ist eine Querschnittsdarstellung des in Fig. 28 gezeigten Magnetowiderstandselements von der Seite.

Auf einer aus Ta (Tantal) gebildeten Basisschicht 1 ist eine antiferromagnetische Schicht 2, und auf dieser wiederum eine fixierte magnetische Schicht 3 gebildet.

Die fixierte magnetische Schicht 3 ist in Kontakt mit der antiferromagnetischen Schicht 2 ausgebildet, wodurch an der Grenzfläche zwischen den Schichten 2 und 3 ein Austausch-Koppelmagnetfeld (ein anisotropes Austausch-Magnetfeld) erzeugt wird, wodurch die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht gemäß der Darstellung in der Figur in Y-Richtung festgelegt wird.

Auf der fixierten magnetischen Schicht 3 ist eine aus Cu oder dergleichen bestehende nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht 4 ausgebildet, und auf dieser wiederum ist eine freie magnetische Schicht 5 ausgebildet. Auf beiden Seiten der freien magnetischen Schicht 5 befinden sich hartmagnetische Vormagnetisierungsschichten 6, beispielsweise gebildet aus einer Co-Pt-(Kobalt-Platin-)Legierung. Die hartmagnetischen Vormagnetisierungsschichten 6 sind gemäß der Figur in X-Richtung magnetisiert, so daß die Magnetisierung der freien magnetischen Schicht 5 in X-Richtung ausgerichtet wird. Die Schwankung der Magnetisierung der freien magnetischen Schicht 5 und die festgelegte Magnetisierung der fixierten Magnetschicht 3 kreuzen einander. Außerdem ist eine aus Ta oder dergleichen gebildete Schutzschicht 7 sowie eine Leiterschicht 8 aus Cu oder dergleichen vorgesehen. Bei diesem Magnetowiderstandselement fließt ein Lesestrom aus der Leiterschicht entweder in Richtung X oder in die der X-Richtung entgegengesetzte Richtung, wobei die nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht 4 im wesentlichen die Mitte bildet. Wenn die Magnetisierung der freien magnetischen Schicht 5 in X-Richtung ausgerichtet ist, dabei jedoch Schwankungen unterliegt aufgrund eines Magnetfeldes, welches aus dem Aufzeichnungsträger streut, beispielsweise aus einer Festplatte, so ändert sich der elektrische Widerstand abhängig von der Beziehung zwischen der Magnetisierung der freien magnetischen Schicht 5 und der Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht 3, die in dieser Figur in Y-Richtung festgelegt ist, und hierdurch wird das aus dem Aufzeichnungsträger streuende Magnetfeld nachgewiesen durch eine Spannungsänderung aufgrund der Änderung der elektrischen Widerstandswerte.

Bei den bekannten Ausgestaltungen dienen FeMn-Legierungen, NiO, NiMn-Legierungen und ähnliches als Material für die antiferromagnetische Schicht 2. Bei diesen Beispielen erübrigt die Verwendung von FeMn-Legierungen oder NiO als antiferromagnetisches Material eine Wärmebehandlung zum Erzeugen eines Austausch-Koppelmagnetfelds an der Grenzfläche zwischen der antiferromagnetischen Schicht 2 und der fixierten magnetischen Schicht 3, allerdings macht

die Verwendung von NiMn als antiferromagnetisches Material eine Wärmebehandlung erforderlich.

Bei den bekannten Einrichtungen werden als antiferromagnetische Werkstoffe für die Schicht 2 NiMn-Legierungen, FeMn-Legierungen, NiO etc. verwendet.

Bei diesen Stoffen allerdings, insbesondere bei FeMn-Legierungen und NiO-Legierungen, beträgt die Sperrtemperatur 200°C oder weniger, was bedeutet, daß es diesen Werkstoffen an Stabilität mangelt. Insbesondere in den letzten Jahren hat die Drehzahl von Aufzeichnungsträgern ebenso wie die Stärke des aus der Schicht 8 fließenden Lesestroms zugenommen, wobei die Umgebungstemperatur innerhalb der Geräte hohe Werte von beispielsweise 200°C oder darüber erreicht. Verwendet man also ein antiferromagnetisches Material mit einer niedrigen Sperrtemperatur für die antiferromagnetische Schicht 2 des Magnetowiderstandselements, so reduziert dies das Austausch-Koppelmagnetfeld (das anisotrope Austausch-Magnetfeld), welches an der Grenzfläche zwischen der antiferromagnetischen Schicht 2 und der fixierten magnetischen Schicht 3 erzeugt wird, demzufolge die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht 3 nicht in der ausreichend exakten Weise in Y-Richtung festgelegt werden kann. Hierdurch entsteht ein Abfall, des  $\Delta MR$ -Werts (Geschwindigkeit der Widerstandsänderung).

Die Sperrtemperatur bestimmt sich allein durch das antiferromagnetische Material der Schicht 2, so daß auch dann, wenn die Struktur des Magnetowiderstandselements verbessert wird, die Sperrtemperatur selbst nicht angehoben werden kann.

Die US-A-S 701 223 offenbart einen Aufbau, bei dem die fixierte magnetische Schicht verbessert ist und auch das Austausch-Koppelmagnetfeld verbessert werden kann. Allerdings wird dabei NiO als antiferromagnetisches Material verwendet, so daß die Sperrtemperatur bei etwa 200°C liegt, und auch wenn man das Austausch-Koppelmagnetfeld bei Zimmertemperatur verstärken kann, so wird das Austausch-Koppelmagnetfeld des Magnetowiderstandselements kleiner, wenn der Aufzeichnungsträger unter Temperaturbedingungen arbeitet, bei denen eine Temperatur von 200°C oder darüber erreicht wird. Das Austausch-Koppelmagnetfeld wird 0, so daß möglicherweise überhaupt kein  $\Delta MR$  erhalten wird.

Andererseits besitzen NiMn-Legierungen höhere Sperrtemperaturen als NiO- oder FeMn-Legierungen, allerdings sind Eigenschaften wie Korrosionsbeständigkeit und dergleichen schlecht, so daß ein antiferromagnetischer Werkstoff mit höheren Temperaturen aber gleichzeitig hervorragenden Eigenschaften wie gute Korrosionsbeständigkeit erwünscht sind.

Außerdem fließt gemäß obiger Beschreibung der Lesestrom aus der Leiterschicht 8 hauptsächlich in der durch die nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht 4 gebildeten Mitte, wo ein niedriger Widerstand herrscht, so daß ein Lesestrom-Magnetfeld entsprechend der Korkenzieherregel aufgrund des Lesestroms entsteht. Hierdurch wiederum ergibt sich das Problem, daß das Lesestrom-Magnetfeld die festgelegte Magnetisierung der fixierten Magnetschicht 3 beeinflusst.

Wie aus Fig. 29 ersichtlich ist, ist die Magnetisierung der fixierten Magnetschicht 3 in Y-Richtung der Figur gerichtet, falls jedoch das Lesestrom-Magnetfeld aufgrund des fließenden Lesestroms im Bereich der fixierten Magnetschicht 3 in Y-Richtung verläuft, so passen die Richtung der festgelegten Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht 3 und die Richtung des Lesestrom-Magnetfelds nicht zusammen, demzufolge die festgelegte Magnetisierung durch das Lesestrom-Magnetfeld beeinflusst und wellig wird, so daß das Problem eines instabilen Magnetisierungszustands entsteht.

Insbesondere dann, wenn ein antiferromagnetischer Werkstoff wie eine NiO- oder eine FeMn-Legierung, die nur ein schwaches Austausch-Koppelmagnetfeld (anisotropes Austausch-Magnetfeld), an der Grenzfläche zwischen der Schicht 3 und der antiferromagnetischen Schicht 2 erzeugt, wobei die Legierung eine niedrige Sperrtemperatur besitzt, so ergibt sich eine Verschlechterung des festgelegten Magnetismus in der fixierten magnetischen Schicht 3 dann, wenn die festgelegte Magnetisierungsrichtung der Schicht 3 und die Richtung des Lesestrom-Magnetfelds in entgegengesetzte Richtungen weisen, so daß möglicherweise eine Zerstörung in Form einer Umkehrung der festgelegten Magnetisierung stattfindet.

In den vergangenen Jahren gab es den Trend, einen starken Lesestrom einzusetzen, um mit höheren Dichten arbeiten zu können, allerdings ist es bekannt, daß ein Lesestrom von 1 mA ein Lesestrom-Magnetfeld von etwa 30 (Oe) erzeugt, und daß die Bauelement-Temperatur um etwa 15°C ansteigt, so daß bei mehreren zehn mA Lesestrom ein plötzlicher Temperaturanstieg des Bauelements stattfindet und ein sehr starkes Lesestrom-Magnetfeld entsteht.

Um also die thermische Stabilität der festgelegten Magnetisierung der fixierten Magnetschicht 3 zu verbessern, muß ein antiferromagnetisches Material mit hoher Sperrtemperatur ausgewählt werden, welches ein starkes Austausch-Koppelmagnetfeld (anisotropes Austausch-Magnetfeld) an der Grenzfläche zwischen der fixierten magnetischen Schicht 3 und der antiferromagnetischen Schicht 2 erzeugt, wobei der Lesestrom in eine geeignete Richtung gelenkt werden muß, so daß die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht 3 nicht durch das Lesestrom-Magnetfeld zerstört wird.

Die US-A-S 701 223 offenbart, die fixierte magnetische Schicht aufzuteilen in zwei Schichten, wobei die Magnetisierung der beiden fixierten magnetischen Schichten einen antiparallelen Zustand einnimmt, wodurch man ein starkes Austausch-Koppelmagnetfeld erhalten kann.

Allerdings besteht die antiferromagnetische Schicht dort aus NiO, und NiO besitzt eine niedrige Sperrtemperatur von etwa 200°C, und es wird nur ein schwaches Austausch-Koppelmagnetfeld (anisotropes Austausch-Magnetfeld) an der Grenzfläche zwischen der fixierten magnetischen Schicht und der antiferromagnetischen Schicht erzeugt.

Besonders in den letzten Jahren gab es einen Trend zur Steigerung der Drehzahl des Aufzeichnungsträgers und zur Erhöhung des Lesestroms, um mit höheren Packungsdichten fertigzuwerden, wodurch die Umgebungstemperaturen in dem Bauelement anstiegen, so daß bei Verwendung von NiO als antiferromagnetische Schicht das Austausch-Koppelmagnetfeld schwächer wird. Dies bedeutet, daß es schwierig ist, eine Magnetisierungs-Steuerung der fixierten magnetischen Schicht durchzuführen.

Andererseits besitzen NiMn-Legierungen eine höhere Sperrtemperatur als NiO, und das Austausch-Koppelmagnetfeld (das anisotrope Austausch-Magnetfeld) ist ebenfalls größer. Außerdem richteten sich Bestrebungen auf X-Mn-Legierungen (X steht für Pt, Pd, Ir, Rh, Ru) unter Verwendung der Elemente der Platingruppe als ferromagnetisches Material, welches eine Sperrtemperatur etwa vergleichbar mit der von NiMn-Legierungen aufweist, ferner ein starkes Aus-

tausch-Koppelmagnetfeld sowie eine den NiMn-Legierungen überlegene Korrosionsbeständigkeit aufweist.

Der Einsatz solcher X-Mn-Legierungen mit Elementen der Platingruppe als antiferromagnetische Schicht und das zusätzliche Unterteilen der fixierten magnetischen Schicht in zwei Schichten sollten die Erzielung eines stärkeren Austausch-Koppelmagnetfelds im Vergleich zu dem Einsatz von NiO für die antiferromagnetische Schicht erleichtern.

Nun müssen X-Mn-Legierungen unter Einsatz von Elementen der Platingruppe in einem Magnetfeld wärmebehandelt werden (thermische oder Wärmebehandlung) im Anschluß an die Schichtbildung, um ein Austausch-Koppelmagnetfeld an der Grenzfläche zwischen der fixierten magnetischen Schicht und der antiferromagnetischen Schicht zu erzeugen, wie es auch der Fall bei NiMn-Legierungen ist.

Wenn man allerdings Größe und Richtung des während der Wärmebehandlung angelegten Magnetfelds und das magnetische Moment (Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  · Schichtdicke  $t$ ) der zwei abgeteilten fixierten Magnetschichten nicht in geeigneter Weise einstellt, so läßt sich die Magnetisierung der beiden fixierten magnetischen Schichten nicht in einem stabilen Antiparallel-Zustand halten. Speziell bei sogenannten Doppel-Drehventil-Magnetowiderstandsbauelementen in Form von Dünnschichtbauelementen, bei denen die fixierten Magnetschichten oberhalb und unterhalb der mittigen freien magnetischen Schicht, ausgebildet sind, muß die Magnetisierungsrichtung der beiden fixierten magnetischen Schichten oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht in geeigneter Weise gesteuert werden, ansonsten kommt es zu einem  $\Delta MR$ -Abfall (das heißt einem Abfall der Geschwindigkeit der Widerstandsänderung), wodurch es Probleme aufgrund eines schwachen Widergabe-Ausgangssignals geben kann.

#### Offenbarung der Erfindung

Die vorliegende Erfindung wurde gemacht, um die oben angesprochenen Probleme im Stand der Technik zu lösen. Folglich ist es Aufgabe gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung, ein Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom Drehventil-Typ und einen Dünnschicht-Magnetkopf unter Verwendung eines solchen Dünnschichtelements zu schaffen, die thermisch stabil sind und in der Lage sind, das Austausch-Koppelmagnetfeld zu stärken, in dem der Aufbau der fixierten Magnetschicht ebenso verbessert wird wie der Werkstoff der antiferromagnetischen Schicht, wobei außerdem in geeigneter Weise die Schichtdicke der fixierten magnetischen Schicht eingestellt wird.

Es ist ferner Aufgabe gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung, ein Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom Drehventil-Typ sowie einen ein solches Dünnschichtelement verwendenden Dünnschicht-Magnetkopf zu schaffen, die in der Lage sind, den Magnetisierungszustand der fixierten magnetischen Schicht in thermisch stabiler Weise aufrechtzuerhalten, indem der Aufbau der fixierten magnetischen Schicht und das Material der antiferromagnetischen Schicht insbesondere verbessert wird, wobei ferner die Richtung des Lesestroms in die geeignete Richtung beeinflußt wird.

Ferner ist es Aufgabe gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Drehventil-Magnetowiderstands-Dünnschichtelements sowie eines ein solches Element enthaltenden Dünnschicht-Magnetkopfs anzugeben, mit dessen Hilfe man die Magnetisierung von zwei fixierten magnetischen Schichten in einem stabilen antiparallelen Zustand halten kann, indem man in geeigneter Weise das magnetische Moment einer fixierten magnetischen Schicht, die in zwei Schichten aufgeteilt wurde, steuert und außerdem Richtung und Größe eines während der Wärmebehandlung angelegten Magnetfelds steuert, wobei das Verfahren außerdem zu einem hohen  $\Delta MR$ -Wert führen soll, wie er bei bekannten Vorrichtungen möglich ist.

Zu diesem Zweck schafft ein erster Aspekt der vorliegenden Erfindung ein Magnetowiderstands-Dünnschichtelement von "Drehventil"-Typ, umfassend: eine antiferromagnetische Schicht; eine fixierte magnetische Schicht, die die antiferromagnetische Schicht kontaktiert, wobei ihre Magnetisierungsrichtung durch das Austausch-Kopplungsmagnetfeld zwischen der fixierten magnetischen Schicht und der antiferromagnetischen Schicht festgelegt wird; und eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht, die zwischen einer freien magnetischen Schicht und der fixierten magnetischen Schicht ausgebildet ist, und deren Magnetisierungsrichtung derart ausgerichtet ist, daß sie sich mit der Magnetisierungsrichtung der fixierten magnetischen Schicht schneidet, wobei die fixierte magnetische Schicht in zwei Schichten mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht unterteilt ist, und wobei für die erste, mit der antiferromagnetischen Schicht in Kontakt stehende, und die zweite, mit der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht in Kontakt stehende fixierte magnetische Schicht das Verhältnis (Schichtdicke ersten fixierten magnetischen Schicht)/(Schichtdicke der zweiten fixierten magnetischen Schicht) in einem Bereich von 0,33 bis 0,95 oder 1,05 bis 4 liegt.

Erfindungsgemäß schafft die Erfindung ein Dünnschichtelement, bei dem der Wert (Schichtdicke der ersten fixierten magnetischen Schicht)/(Dicke der zweiten magnetischen Schicht) in einem Bereich von 0,53 bis 0,95 oder 1,05 bis 1,8 liegt.

Weiterhin wird erfindungsgemäß bevorzugt, wenn die Schichtdicke der ersten fixierten magnetischen Schicht sowie die der zweiten fixierten magnetischen Schicht beide in einem Bereich von 10 bis 70 Angström (Å) liegen, wobei die Schichtdicke der ersten fixierten magnetischen Schicht abzüglich der Schichtdicke der zweiten fixierten magnetischen Schicht  $\geq 2$  Angström.

Nochmehr bevorzugt wird erfindungsgemäß, wenn die Schichtdicke der ersten fixierten magnetischen Schicht und die Schichtdicke der zweiten magnetischen Schicht beide in einem Bereich von 10 bis 50 Angström (Å) liegen, wobei die Schichtdicke der ersten fixierten magnetischen Schicht abzüglich der Schichtdicke der zweiten magnetischen Schicht  $\geq 2$  Angström.

Außerdem läßt sich erfindungsgemäß die freie magnetische Schicht in zwei Schichten aufteilen, wobei dazwischen eine nichtmagnetische Zwischenschicht liegt.

Weiterhin wird erfindungsgemäß ein Drehventil-Magnetowiderstands-Dünnschichtelement geschaffen, welches ein Einzel-Drehventil-Dünnschichtelement aufweist, bestehend aus einem Einzel-Drehventil-Magnetowiderstands-Dünnschichtelement, bestehend aus einer antiferromagnetischen, einer ersten fixierten magnetischen, einer nichtmagnetischen Zwischen-, einer zweiten fixierten magnetischen, einer nichtmagnetischen, elektrisch leitenden und einer freien magnetischen Schicht, wobei dann, wenn die freie magnetische Schicht in zwei Schichten unterteilt ist, die auf der in Kontakt mit der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht kommenden Seite gebildete freie magnetische Schicht als erste

freie magnetische Schicht und die andere freie magnetische Schicht als zweite freie magnetische Schicht fungiert, und für den Fall, daß das Magnetowiderstands-Dünnschichtelement ein Doppel-Drehventil-Magnetowiderstands-Dünnschichtelement ist, dieses aufweist: nichtmagnetische elektrisch leitende Schichten oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht als Mitte; wobei die drei Schichten, nämlich die zweite fixierte magnetische Schicht/die nichtmagnetische Zwischenschicht/die erste fixierte magnetische Schicht, oberhalb der einen nichtmagnetischen elektrisch leitenden Schicht und unterhalb der anderen nichtmagnetischen elektrisch leitenden Schicht ausgebildet sind; und antiferromagnetische Schichten oberhalb der einen und unterhalb der anderen ersten fixierten magnetischen Schicht gebildet sind; wobei von der in zwei Schichten unterteilten freien magnetischen Schicht die eine freie magnetische Schicht als eine erste und die andere als eine zweite freie magnetische Schicht fungiert, und das Verhältnis der Schichtdicke der ersten freien magnetischen Schicht zu der Schichtdicke der zweiten freien magnetischen Schicht in einem Bereich von 0,56 bis 0,83 oder 1,25 bis 5 liegt, bevorzugt in einem Bereich von 0,61 bis 0,83 oder 1,25 bis 2,1.

Außerdem schafft die Erfindung ein Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom "Drehventil"-Typ, umfassend: eine antiferromagnetische Schicht; eine fixierte magnetische Schicht, die die antiferromagnetische Schicht kontaktiert, wobei ihre Magnetisierungsrichtung durch das Austausch-Kopplungsmagnetfeld zwischen der fixierten magnetischen Schicht und der antiferromagnetischen Schicht festgelegt wird; wobei die Festlegung mittels einer Wärmebehandlung in einem Magnetfeld erfolgt ist; und eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht, die zwischen einer freien magnetischen Schicht und der fixierten magnetischen Schicht ausgebildet ist, und deren Magnetisierungsrichtung derart ausgerichtet ist, daß sie sich mit der Magnetisierungsrichtung der fixierten magnetischen Schicht schneidet, wobei die fixierte magnetische Schicht in zwei Schichten mit einer dazwischenliegenden, nichtmagnetischen Zwischenschicht unterteilt ist und wobei für die erste, mit der antiferromagnetischen Schicht in Kontakt stehende, und die zweite, mit der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht in Kontakt stehende fixierte magnetische Schicht das Produkt der Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  und der Schichtdicke  $t$  als "magnetische Schichtdicke" (magnetisches Moment) ein Verhältnis (magnetische Schichtdicke der ersten fixierten magnetischen Schicht)/(magnetische Schichtdicke der zweiten fixierten magnetischen Schicht) in einem Bereich von 0,33 bis 0,95 oder 1,05 bis 4 liegt.

Erfindungsgemäß wird bevorzugt, wenn bei dem das Verhältnis (magnetische Schichtdicke der ersten fixierten magnetischen Schicht)/(magnetische Schichtdicke der zweiten fixierten magnetischen Schicht) in einem Bereich von 0,53 bis 0,95 oder 1,05 bis 1,8 liegt.

Erfindungsgemäß wird bevorzugt, wenn bei dem die magnetische Schichtdicke der ersten fixierten magnetischen Schicht und die magnetische Schichtdicke der zweiten fixierten magnetischen Schicht beide in einem Bereich von 10 bis 70 (Angström-Tesla) liegen, wobei  $l$  die magnetische Schichtdicke der ersten fixierten magnetischen Schicht abzüglich der magnetischen Schichtdicke der zweiten fixierten magnetischen Schicht  $l \geq$  (Angström-Tesla).

Außerdem wird erfindungsgemäß noch mehr bevorzugt, wenn die Schichtdicke der ersten fixierten magnetischen Schicht und die der zweiten fixierten magnetischen Schicht beide im Bereich von 10 bis 50 (Angström-Tesla) liegen, wobei  $l$  die magnetische Schichtdicke der ersten fixierten magnetischen Schicht abzüglich derjenigen der zweiten fixierten magnetischen Schicht  $l \geq 2$  (Angström-Tesla).

Erfindungsgemäß wird außerdem die freie magnetische Schicht in zwei Schichten unterteilt, wobei zwischen ihnen eine nichtmagnetische Zwischenschicht liegt.

Erfindungsgemäß umfaßt das Drehventil-Magnetowiderstands-Dünnschichtelement: ein Einzel-Drehventil-Magnetowiderstands-Dünnschichtelement, bestehend aus einer antiferromagnetischen, einer ersten fixierten magnetischen, einer nichtmagnetischen Zwischen-, einer zweiten fixierten magnetischen, einer nichtmagnetischen, elektrisch leitenden und einer freien magnetischen Schicht, wobei dann, wenn die freie magnetische Schicht in zwei Schichten unterteilt ist, die auf der in Kontakt mit der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht komenden Seite gebildete freie magnetische Schicht als erste freie magnetische Schicht und die andere freie magnetische Schicht als zweite freie magnetische Schicht fungiert, und für den Fall, daß das Magnetowiderstands-Dünnschichtelement ein Doppel-Drehventil-Magnetowiderstands-Dünnschichtelement ist, dieses aufweist: nichtmagnetische elektrisch leitende Schichten oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht als Mitte; wobei die drei Schichten, nämlich die zweite fixierte magnetische Schicht/die nichtmagnetische Zwischenschicht/die erste fixierte magnetische Schicht, oberhalb der einen nichtmagnetischen elektrisch leitenden Schicht und unterhalb der anderen nichtmagnetischen elektrisch leitenden Schicht ausgebildet sind; und antiferromagnetische Schichten oberhalb der einen und unterhalb der anderen ersten fixierten magnetischen Schicht gebildet sind; wobei von der in zwei Schichten unterteilten freien magnetischen Schicht die eine freie magnetische Schicht als eine erste und die andere als eine zweite freie magnetische Schicht fungiert, und das Verhältnis (magnetische Schichtdicke der ersten freien magnetischen Schicht) / (magnetische Schichtdicke der zweiten freien magnetischen Schicht) im Bereich von 0,56 bis 0,83 oder 1,25 bis 5 liegt, noch mehr bevorzugt in einem Bereich von 0,61 bis 0,83 oder 1,25 bis 2,1.

Erfindungsgemäß wird außerdem bevorzugt, wenn die nichtmagnetische Zwischenschicht zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht aus einem der folgenden Elemente oder einer Legierung aus mindestens zwei dieser Elemente gebildet ist: Ru, Rh, Ir, Cr, Re und Cu.

Erfindungsgemäß kann das Magnetowiderstands-Dünnschichtelement eine antiferromagnetische Schicht unterhalb der freien magnetischen Schicht enthalten, und bei dieser Ausgestaltung wird bevorzugt, wenn die Dicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht zwischen der ersten fixierten magnetischen Schicht, die in Kontakt mit der antiferromagnetischen Schicht steht, und der zweiten fixierten magnetischen Schicht, die in Kontakt mit der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht steht, in einem Bereich von 3,6 bis 9,6 Angström, bevorzugter in einem Bereich von 4,0 bis 9,4 Angström liegt.

Alternativ kann das Dünnschichtelement eine antiferromagnetische Schicht oberhalb der freien magnetischen Schicht enthalten, und bei dieser Ausgestaltung wird bevorzugt, wenn die Dicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht zwischen der ersten, mit der antiferromagnetischen Schicht in Kontakt stehenden, und der zweiten mit den nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht in Kontakte stehenden fixierten magnetischen Schicht im Bereich von 2,5 bis 6,4 Angström oder 6,6 bis 10,7 Angström liegt, bevorzugter in einem Bereich von 2,8 bis 6,2 Angström oder 6,8 bis 10,3 Angström.

Vorzugsweise wird erfindungsgemäß die antiferromagnetische Schicht aus einer PtMn-Legierung gebildet.

Außerdem kann erfindungsgemäß die antiferromagnetische Schicht aus einer X-Mn-Legierung (X ist mindestens eines der folgenden Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru und Os) gebildet sein, oder kann aus einer PtMn-X'-Legierung gebildet sein (X' ist mindestens eines der folgenden Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Au und Ag).

Erfindungsgemäß schafft die Erfindung ein Magnetowiderstandselement, umfassend ein Einzel-Drehventil-Magnetowiderstands-Dünnschichtelement, bestehend aus folgenden einzelnen Schichten: eine antiferromagnetische Schicht, eine erste fixierte magnetische Schicht, eine nichtmagnetische Zwischenschicht, eine zweite fixierte magnetische Schicht, eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht und eine freie magnetische Schicht; wobei die Dicke der antiferromagnetischen Schicht in einem Bereich von 90 bis 200 Angström liegt, bevorzugter in einem Bereich von 100 bis 200 Angström.

Alternativ kann das Magnetowiderstands-Dünnschichtelement ein Doppel-Dünnschichtelement sein, umfassend: nicht magnetische, elektrisch leitende Schichten oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht als Mitte; wobei die drei Schichten, nämlich die zweite fixierte magnetische Schicht/die nichtmagnetische Zwischenschicht/die erste fixierte magnetische Schicht oberhalb der einen nichtmagnetischen elektrisch leitenden Schicht und unterhalb der anderen nichtmagnetischen elektrisch leitenden Schicht ausgebildet sind; und oberhalb der einen ersten fixierten magnetischen Schicht und unterhalb der anderen ersten fixierten magnetischen Schicht antiferromagnetische Schichten gebildet sind; wobei die Dicke der antiferromagnetischen Schicht in einem Bereich von 100 bis 200 Angström liegt, bevorzugter in einem Bereich von 110 bis 200 Angström.

Außerdem wird bevorzugt, wenn die nichtmagnetische Zwischenschicht zwischen der ersten und der zweiten freien magnetischen Schicht aus einem der folgenden Elemente oder einer Legierung aus mindestens zwei dieser Elemente besteht: Ru, Rh, Ir, Cr, Re und Cu.

Bevorzugt liegt die Dicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht bei 5, 5 bis 10,0 Angström, bevorzugter bei 5,9 bis 9,4 Angström.

Ein erfindungsgemäßer Dünnschicht-Magnetkopf enthält Abschirmungsschichten oberhalb und unterhalb des Magnetowiderstandselements, wobei dazwischen Spalt-Schichten eingefügt sind.

Erfindungsgemäß ist die fixierte magnetische Schicht bei dem Magnetowiderstandselement in zwei Schichten unterteilt, wobei zwischen den abgeteilten Schichten eine nichtmagnetische Zwischenschicht liegt.

Die Magnetisierung der abgeteilten beiden fixierten magnetischen Schichten erfolgt so, daß sie einen antiparallelen Zustand einnehmen, und außerdem in einem sogenannten Ferri-Zustand, bei dem der Betrag des magnetischen Moments (die magnetische Schichtdicke) einer der fixierten magnetischen Schichten abweicht von dem magnetischen Moment der anderen fixierten magnetischen Schicht. Das Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung), das zwischen den beiden fixierten magnetischen Schichten erzeugt wird, ist äußerst stark, beträgt in etwa 1000 (Oe) bis 5000 (Oe), so daß sich die beiden fixierten magnetischen Schichten in einem äußerst stabilen Zustand der antiparallelen Magnetisierung befinden.

Nun ist eine der fixierten magnetischen Schichten, die im antiparallelen Zustand (Ferri-Zustand) magnetisiert sind, derart ausgebildet, daß sie in Kontakt mit der antiferromagnetischen Schicht besteht, und die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht, die die antiferromagnetische Schicht kontaktiert (im folgenden als "erste fixierte magnetische Schicht" bezeichnet) wird in der Richtung festgelegt, die von einer Ebene fortweist, die zum Beispiel einem Aufzeichnungsträger gegenübersteht (das heißt in Höhenrichtung), und zwar durch das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (das anisotrope Austausch-Magnetfeld), welches an der Grenzschicht zwischen der fixierten magnetischen Schicht und der antiferromagnetischen Schicht erzeugt wird. Folglich wird die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht, die der ersten fixierten magnetischen Schicht bei dazwischenliegender nichtmagnetischer Zwischenschicht gegenüberliegt (im folgenden als "zweite fixierte magnetische Schicht" bezeichnet) in einem Zustand festgelegt ("pinned"), der bezüglich der Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht antiparallel orientiert ist.

Erfindungsgemäß ist der Bereich, der üblicherweise die beiden durch die antiferromagnetische und die fixierte magnetische Schicht gebildeten Schichten umfaßt, in Form von vier Schichten ausgebildet, nämlich als antiferromagnetische Schicht/erste fixierte magnetische Schicht/nichtmagnetische Zwischenschicht/zweite fixierte magnetische Schicht, wodurch der Magnetisierungszustand der ersten fixierten magnetischen Schicht und der zweiten fixierten magnetischen Schicht in einem äußerst stabilen Zustand in Bezug auf äußere Magnetfelder gehalten werden kann, wobei allerdings mehrere Bedingungen erfüllt sein müssen, um die Magnetisierungsstabilität der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht noch weiter zu steigern.

Die erste Bedingung besteht darin, das Austausch-Koppelmagnetfeld (das anisotrope Austausch-Magnetfeld) zu verstärken, welches an der Grenzfläche zwischen der antiferromagnetischen Schicht und der ersten fixierten magnetischen Schicht erzeugt wird. Wie oben ausgeführt, wird die Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht von dem Austausch-Koppelmagnetfeld, welches an der Grenzfläche bezüglich der antiferromagnetischen Schicht erzeugt wird, in eine gewisse Richtung festgelegt, falls allerdings dieses Austausch-Kopplungsmagnetfeld schwach ist, wird die festgelegte Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht nicht stabilisiert und kann sich leicht durch äußere Magnetfelder und ähnliche Einflüsse ändern. Dementsprechend wird bevorzugt, daß das Austausch-Koppelmagnetfeld (das anisotrope Austausch-Magnetfeld), welches an der Grenzfläche bezüglich der antiferromagnetischen Schicht erzeugt wird, stark ist, und die Erfindung sieht als antiferromagnetische Schicht eine PtMn-Legierung vor, wodurch an der Grenzfläche bezüglich der ersten fixierten magnetischen Schicht ein starkes Austausch-Koppelmagnetfeld erzeugt werden kann. Außerdem kann anstelle der PtMn-Legierung eine X-Mn-Legierung (X ist mindestens eines folgender Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru und Os) oder eine PtMn-X'-Legierung (X' ist mindestens eines der folgenden Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Au und Ag) verwendet werden.

Diese antiferromagnetischen Werkstoffe besitzen hervorragende Eigenschaften, da sie ein stärkeres Austausch-Koppelmagnetfeld erzeugen als NiO, FeMn-Legierungen, NiMn-Legierungen und dergleichen, die üblicherweise als antiferromagnetische Werkstoffe eingesetzt wurden, wobei sie außerdem hohe Sperrtemperaturen besitzen und zusätzlich hervorragend Korrosionsbeständigkeit sowie weitere Vorteile aufweisen.

Fig. 26 zeigt die R-H-Kurven eines erfindungsgemäßen Dünnschichtelements, bei dem die fixierte magnetische Schicht aufgeteilt ist in zwei Schichten, wobei zwischen diesen Schichten eine nichtmagnetische Zwischenschicht eingefügt ist, wobei für die antiferromagnetische Schicht eine PtMn-Legierung verwendet wurde. Dargestellt ist außerdem ein bekanntes Magnetowiderstands-Dünnschichtelement, bei dem die fixierte magnetische Schicht als Einzelschicht ausgebildet ist.

Der Schichtaufbau des Magnetowiderstandselements gemäß der Erfindung beinhaltet von unten nach oben: das Si-Substrat / Aluminiumoxid:  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ta}$  (30)/eine antiferromagnetische Schicht aus PtMn (200)/erste fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (7)/zweite fixierte magnetische Schicht aus Co (20)/Cu (20)/Co (10)/NiFe (40)/Ta (30); wobei die Angaben in den Klammern die Schichtdicken in Angström bedeuten. Demgegenüber hat ein herkömmliches Magnetowiderstandselement folgenden Aufbau von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid:  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ta}$  (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (300)/fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/Cu (20)/Co (10)/NiFe (40)/Ta (30).

Sowohl ein Magnetowiderstandselement gemäß der Erfindung als auch ein bekanntes Magnetowiderstandselement wurden vier Stunden lang einer Wärmebehandlung bei  $260^\circ\text{C}$  unterzogen, während ein Magnetfeld von 200 (Oe) angelegt wurde.

Aus Fig. 26 läßt sich entnehmen, daß der  $\Delta\text{MR}$ -Wert (die Geschwindigkeit der Widerstandsänderung) des erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselements zwischen 7 und 8% höchstens liegt und der  $\Delta\text{MR}$ -Wert durch Anlegen eines negativen äußeren Magnetfelds abfällt, allerdings der  $\Delta\text{MR}$  gemäß der Erfindung langsamer abfällt als der  $\Delta\text{MR}$  des bekannten Magnetowiderstandselements.

Nun soll erfindungsgemäß der Betrag des äußeren Magnetfelds zu dem Zeitpunkt, zu dem  $\Delta\text{MR}$  dem halben Maximumwert entspricht, als dasjenige Austausch-Kopplemagnetfeld (Hex) vereinbart werden, welches durch das Magnetowiderstandselement erzeugt wird.

Wie in Fig. 26 gezeigt ist, beträgt der Maximum- $\Delta\text{MR}$  des bekannten Magnetowiderstandselements etwa 8%, und das äußere Magnetfeld, bei dem  $\Delta\text{MR}$  auf den halben Wert abfällt (das Austausch-Kopplemagnetfeld Hex), beträgt etwa 900 (Oe) absolut.

Im Vergleich dazu liegt der Maximum- $\Delta\text{MR}$  des erfindungsgemäßen Dünnschichtelements bei etwa 7,5%, also etwas unterhalb des Werts der bekannten Anordnung, das äußere magnetische Feld, bei dem der  $\Delta\text{MR}$ -Wert auf die Hälfte abfällt (das Austausch-Kopplemagnetfeld Hex) beträgt etwa 2800 (Oe) absolut, was ein viel höherer Wert ist.

Es ist also ersichtlich, daß das Austausch-Kopplemagnetfeld (Hex) mit dem erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselement spürbar verstärkt werden kann, wobei in dem erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselement die fixierte magnetische Schicht auf zwei Schichten aufgeteilt ist, verglichen mit dem bekannten Magnetowiderstandselement, welches eine einschichtige Anordnung der fixierten Magnetschicht aufweist. Die Stabilität der Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht läßt sich im Vergleich zu der bekannten Anordnung ebenfalls steigern. Außerdem fällt der  $\Delta\text{MR}$ -Wert gemäß der Erfindung nicht so stark ab wie bei der bekannten Anordnung, was zeigt, daß ein hoher  $\Delta\text{MR}$ -Wert aufrechterhalten werden kann.

Fig. 27 ist eine grafische Darstellung der Relation zwischen Umgebungstemperatur und dem Austausch-Kopplemagnetfeld, wobei vier Typen von Magnetowiderstandselementen zugrundegelegt wurden:

Das erste Magnetowiderstands-Dünnschichtelement ist ein erfindungsgemäßes Dünnschichtelement, bei dem PtMn für die antiferromagnetische Schicht verwendet wurde, und bei dem die fixierte magnetische Schicht in zwei Teilschichten aufgeteilt wurde. Der Schichtaufbau lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid:  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ta}$  (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (200)/erste fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (7)/zweite fixierte magnetische Schicht aus Co (20)/Cu (20)/Co (10)/NiFe (70)/Ta (30).

Der zweite Typ ist ein erstes konventionelles Beispiel, bei dem für die antiferromagnetische Schicht eine PtMn-Legierung verwendet ist und die fixierte magnetische Schicht eine Einzelschichtstruktur ist. Der Schichtaufbau lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid:  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ta}$  (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (300)/fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/Cu (25)/Co (10)/NiFe (70)/Ta (30).

Der dritte Typ ist ein zweites konventionelles Beispiel, bei dem NiO für die antiferromagnetische Schicht verwendet und die fixierte magnetische Schicht als Einzelschicht ausgebildet wurde. Der Schichtaufbau von unten nach oben lautet: Si-Substrat/Aluminiumoxid:  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ta}$  (30)/antiferromagnetische Schicht aus NiO (500)/fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/Cu (25)/Co (10)/NiFe (70)/Ta (30).

Der vierte Typ ist ein drittes herkömmliches Beispiel, bei dem für die antiferromagnetische Schicht eine FeMn-Legierung verwendet und die fixierte magnetische Schicht als Einzelschicht ausgebildet wurde. Der Schichtaufbau von unten nach oben lautet: Si-Substrat / Aluminiumoxid:  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ta}$  (30)/NiFe (70)/Co (10)/Cu (25)/fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/antiferromagnetische Schicht aus FeMn (150)/Ta (30). Bei sämtlichen vier Typen bedeuten die Klammerangaben die Schichtdicke in Angström.

Die vorliegende Erfindung sowie das erste herkömmliche Beispiel, bei dem eine PtMn-Legierung für die antiferromagnetische Schicht verwendet wurde, wurden einer Wärmebehandlung bei  $260^\circ\text{C}$  während vier Stunden unterzogen, wobei ein Magnetfeld von 200 (Oe) angelegt wurde, im Anschluß an die Schichtausbildung. Das zweite und das dritte konventionelle Beispiel, bei dem NiO und FeMn für die antiferromagnetische Schicht verwendet wurden, wurden nach der Schichtausbildung keiner Wärmebehandlung unterzogen.

Wie in Fig. 27 gezeigt ist, beträgt bei dem erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselement das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) etwa 2500 (Oe) bei Umgebungstemperatur von etwa  $20^\circ\text{C}$ , was sehr hoch ist. Im Vergleich dazu beträgt bei dem zweiten konventionellen Beispiel, bei dem die antiferromagnetische Schicht aus NiO bestand, und bei dem dritten herkömmlichen Beispiel mit FeMn für die antiferromagnetische Schicht das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) nur etwa 500 (Oe), sogar bei Umgebungstemperatur von  $20^\circ\text{C}$ , was sehr wenig ist. Außerdem wird bei dem ersten herkömmlichen Beispiel, bei dem die antiferromagnetische Schicht aus PtMn gebildet war und die fixierte magnetische Schicht als Einzelschicht ausgebildet war, ein Austausch-Kopplungsmagnetfeld von etwa 1000 (Oe) bei Umgebungstemperatur von etwa  $20^\circ\text{C}$  erzeugt, wodurch ersichtlich ist, daß man ein stärkeres Austausch-Kopplungsmagnet-



feld als bei Verwendung von NiO (zweites konventionelles Beispiel) oder FeMn (drittes konventionelles Beispiel) für die antiferromagnetische Schicht erzielen kann.

Die US-A-5 701 223 zeigt ein Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom Drehventil-Typ, bei dem für die antiferromagnetische Schicht NiO verwendet wird, wobei die fixierte magnetische Schicht in Form von zwei Schichten mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht ausgebildet ist. Die R-H-Kurve dieses Magnetowiderstandselements ist in Fig. 8 jener Druckschrift dargestellt. Dementsprechend wird ein Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) von 600 (Oe) erhalten, wobei sich allerdings versteht, daß dies wenig ist im Vergleich zu dem Austausch-Koppelmagnetfeld (etwa 1000 (Oe) beim ersten konventionellen Beispiel), das erzeugt wird, wenn für die antiferromagnetische Schicht eine PtMn-Legierung verwendet und die fixierte magnetische Schicht eine Einzelschicht ist.

Das heißt: falls für die antiferromagnetische Schicht NiO verwendet wird, bleibt selbst bei Aufteilung der fixierten magnetischen Schicht in zwei Schichten und bei Anordnen der Magnetisierung dieser beiden Schichten in einem Ferri-Zustand das Austausch-Koppelmagnetfeld schwächer als bei einer Anordnung, bei der ein PtMn-Legierung für die antiferromagnetische Schicht verwendet und die fixierte magnetische Schicht eine Einzelschicht ist. Hieraus folgt, daß die Verwendung der PtMn-Legierung für die antiferromagnetische Schicht zu bevorzugen ist im Hinblick auf ein stärkeres Austausch-Koppelmagnetfeld.

Wie in Fig. 27 gezeigt ist, wird bei Verwendung von NiO oder einer FeMn-Legierung für die antiferromagnetische Schicht das Austausch-Koppelmagnetfeld auf 0 (Oe) gesenkt, nachdem die Umgebungstemperatur einen Wert von 200°C erreicht, dies deshalb, weil die Sperrtemperatur von NiO und FeMn-Legierungen bei etwa 200°C liegt, was ein niedriger Wert ist.

Bei dem ersten konventionellen Beispiel hingegen, bei dem eine PtMn-Legierung für die antiferromagnetische Schicht verwendet wird, fällt das Austausch-Koppelmagnetfeld auf 0 (Oe) ab, wenn die Umgebungstemperatur 400°C erreicht, woraus sich ersehen läßt, daß die PtMn-Legierung ermöglicht, den Magnetisierungszustand der fixierten magnetischen Schicht in einem extrem stabilen Zustand zu halten, was die Temperatur angeht.

Die Sperrtemperatur wird beherrscht von dem für die antiferromagnetische Schicht verwendeten Material, so bei dem erfindungsgemäßen Magnetowiderstands-Dünnschichtbauelement, wie aus Fig. 27 hervorgeht. Daraus läßt sich schließen, daß das Austausch-Koppelmagnetfeld auf 0 (Oe) abfällt, wenn die Umgebungstemperatur 400°C erreicht, allerdings können unter Einsatz von PtMn-Legierungen für die antiferromagnetische Schicht gemäß der Erfindung Sperrtemperaturen oberhalb jener erreicht werden, wie sie für NiO und ähnliche Werkstoffe gegeben sind, und man kann ein extrem großes Austausch-Koppelmagnetfeld in der Zeit erreichen, in der die Sperrtemperatur erreicht wird, indem man die fixierte magnetische Schicht aufspaltet in zwei Schichten und die Magnetisierung dieser zwei Schichten in einen Ferri-Zustand bringt, demzufolge der Magnetisierungszustand der zwei fixierten magnetischen Schichten temperaturmäßig in einem äußerst stabilen Zustand gehalten werden kann.

Außerdem ist erfindungsgemäß die nichtmagnetische Zwischenschicht zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht aus einem der folgenden Elemente oder einer Legierung aus mindestens zwei dieser Elemente gebildet: Ru, Rh, Ir, Cr, Re und Cu. Die Dicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht ändert sich abhängig davon, ob die ferromagnetische Schicht oberhalb oder unterhalb der freien magnetischen Schicht ausgebildet ist. Die nichtmagnetische Zwischenschicht besitzt eine Dicke in einem angemessenen Bereich, wodurch sich das Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) verstärken läßt. Die passende Dicke für die nichtmagnetische Zwischenschicht wird weiter unten noch näher anhand von grafischen Darstellungen erläutert.

Außerdem gestattet die Aufteilung der fixierten magnetischen Schicht in zwei Schichten gemäß der Erfindung die Erzielung eines starken Austausch-Koppelmagnetfelds (Hex) auch dann, wenn die antiferromagnetische Schicht aus der PtMn-Legierung oder dergleichen dünner gemacht wird, was bedeutet, daß die antiferromagnetische Schicht, bei der es sich um die dickste Schicht in dem Magnetowiderstandselement handelt, verdünnt werden kann, mit der Folge, daß die Gesamt-Baudicke des Magnetowiderstandselements selbst verringert wird. Eine Verringerung der Dicke der antiferromagnetischen Schicht macht es möglich, den Abstand von der Spalt-Schicht auf der Unterseite des Magnetowiderstandselements zu der Spalt-Schicht auf dessen Oberseite, das heißt die Spalt-Länge, zu verringern, auch dann, wenn die Dicke der Spalt-Schichten oberhalb und unterhalb des Magnetowiderstandselements dick genug ist, um eine hinreichende Isolierung zu garantieren, so daß man mit einem engen Spalt arbeiten kann.

Falls die fixierte magnetische Schicht in die erste und die zweite fixierte magnetische Schicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht aufgeteilt wird, wie es die Erfindung lehrt, so zeigen Versuche, daß das Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) und der  $\Delta$ MR-Wert (Geschwindigkeit der Widerstandsänderung) dann drastisch abfallen, wenn die erste und die zweite fixierte magnetische Schicht mit gleicher Dicke ausgebildet werden. Es wird vermutet, daß dies zurückzuführen ist auf den Umstand, daß bei Ausbildung der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht mit gleicher Dicke die Erzielung eines antiparallelen Zustands (Ferri-Zustands) für den Magnetisierungszustand zwischen ersten und zweiter fixierter magnetischer Schicht schwierig zu erreichen ist. Wenn der antiparallele Zustand zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht nicht erreicht werden kann, so läßt sich der relative Winkel bezüglich der schwankenden Magnetisierung der freien magnetischen Schicht nicht hinreichend steuern.

Bei der vorliegenden Erfindung werden also die erste und die zweite fixierte magnetische Schicht nicht mit gleicher Dicke ausgebildet, sondern erhalten vielmehr unterschiedliche Dicken, so daß man ein starkes Austausch-Koppelmagnetfeld und gleichzeitig einen erhöhten  $\Delta$ MR-Wert wie bei bekannten Anordnungen erhalten kann. Das Dickenverhältnis zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht wird weiter unten anhand grafischer Darstellungen noch näher erläutert.

Wie oben beschrieben, läßt sich erfindungsgemäß das Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) des gesamten Dünnschichtbauelements dadurch steigern, daß man die fixierte magnetische Schicht aufteilt in eine erste und eine zweite fixierte magnetische Schicht und dazwischen eine nichtmagnetische Zwischenschicht anordnet, und indem man ein antiferromagnetisches Material, zum Beispiel eine PtMn-Legierung oder dergleichen als antiferromagnetische Schicht verwendet, welches ein starkes Austausch-Koppelmagnetfeld (anisotropes Austausch-Magnetfeld) an der Grenzfläche bezüglich der ersten magnetischen Schicht verwendet, so daß der Magnetisierungszustand der ersten fixierten und der



zweiten fixierten magnetischen Schicht in einem extrem stabilen antiparallelen Zustand (Ferri-Zustand) bezüglich der Temperatur erhalten werden kann.

Erfindungsgemäß läßt sich das Austausch-Koppelmagnetfeld des gesamten Dünnschichtbauelements steigern und ein hoher  $\Delta MR$ -Wert erzielen, indem man das Schichtdickenverhältnis zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht ebenso optimiert wie den Werkstoff und die Dicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht, die Dicke der antiferromagnetischen Schicht etc.

Magnetowiderstands-Dünnschichtelemente, bei denen die vorliegende Erfindung angewendet wird, umfassen sowohl sogenannte Einzel-Drehventil-Magnetowiderstandselemente, die jeweils aus einer einzelnen antiferromagnetischen, fixierten magnetischen, nichtmagnetischen, elektrisch leitenden und freien magnetischen Schicht bestehen, als auch sogenannte Doppel-Drehventil-Magnetowiderstandselemente, bei denen die vorgenannten Schichten doppelt vorhanden sind, wobei die freie magnetische Schicht die Mitte bildet.

Weiterhin läßt sich erfindungsgemäß die freie magnetische Schicht in zwei Teile aufteilen, wobei dazwischen eine nichtmagnetische Zwischenschicht liegt, so wie es bei der fixierten magnetischen Schicht der Fall ist. Die Magnetisierung der ersten freien magnetischen Schicht und der zweiten freien magnetischen Schicht mit der dazwischenliegenden nichtmagnetischen Schicht wird antiparallel mit Hilfe des Austausch-Koppelmagnetfelds magnetisiert (RKKY-Wechselwirkung), welches zwischen der ersten und der zweiten magnetischen Schicht erzeugt wird, und wird außerdem in der Richtung ausgerichtet, in der die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht (der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht) geschnitten wird.

Wie im Fall der fixierten magnetischen Schicht (der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht) wird die Magnetisierung durch ein Austausch-Koppelmagnetfeld (ein anisotropes Austausch-Magnetfeld) mit der antiferromagnetischen Schicht in eine gewisse Richtung festgelegt, allerdings wird die Magnetisierung der freien magnetischen Schicht so gehalten, daß sie sich entsprechend äußerer Magnetfelder frei ändern kann, so daß elektrische Widerstandsänderungen aufgrund der Beziehung zwischen der Magnetisierungs-Änderung der freien magnetischen Schicht und der festgelegten Magnetisierungsrichtung der fixierten magnetischen Schicht erfolgen, was den Nachweis von äußeren Magnetfeldsignalen gestattet.

Erfindungsgemäß läßt sich der antiparallele Zustand (Ferri-Zustand) der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht temperaturmäßig in einem äußerst stabilen Zustand halten, und man kann einen hohen  $\Delta MR$ -Wert wie bei bekannten Anordnungen erzielen, indem man das Verhältnis der Dicke der ersten und der zweiten freien magnetischen Schicht mit der dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht ebenso optimiert wie die Dicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht. Das Verhältnis der Dicke der ersten und der zweiten freien magnetischen Schicht und die Dicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht werden weiter unten anhand grafischer Darstellungen näher erläutert.

Gemäß einem zweiten Aspekt schafft die vorliegende Erfindung ein Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom "Drehventil"-Typ, umfassend: eine antiferromagnetische Schicht; eine fixierte magnetische Schicht, die die antiferromagnetische Schicht kontaktiert, wobei ihre Magnetisierungsrichtung durch das Austausch-Kopplungsmagnetfeld zwischen der fixierten magnetischen Schicht und der antiferromagnetischen Schicht festgelegt wird; und eine nicht magnetische, elektrisch leitende Schicht, die zwischen einer freien magnetischen Schicht und der fixierten magnetischen Schicht ausgebildet ist, und deren Magnetisierungsrichtung derart ausgerichtet ist, daß sie sich mit der Magnetisierungsrichtung der fixierten magnetischen Schicht schneidet, wobei der elektrische Widerstand, der sich nach Maßgabe der Beziehung zwischen der festgelegten Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht und der schwankenden Magnetisierung der freien magnetischen Schicht ändert, nachgewiesen wird mit Hilfe eines Lesestroms, der veranlaßt wird, in einer Richtung zu fließen, welche die festgelegte Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht schneidet; und wobei die fixierte magnetische Schicht aufgeteilt ist in zwei Schichten, nämlich eine erste fixierte magnetische Schicht, die die antiferromagnetische Schicht kontaktiert, und eine zweite fixierte magnetische Schicht, welche die nicht magnetische, elektrisch leitende Schicht kontaktiert, wobei zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht eine nicht magnetische Zwischenschicht liegt; und wobei der Lesestrom dazu gebracht wird, in einer solchen Richtung zu fließen, daß die Richtung des Lesestrom-Magnetfelds, welches an dem Bereich erste fixierte magnetische Schicht/nichtmagnetische Zwischenschicht/zweite fixierte magnetische Schicht durch den fließenden Lesestrom gebildet wird, die gleiche Richtung ist wie die Richtung eines zusammengesetzten magnetischen Moments, welches gebildet wird durch Addieren des magnetischen Moments der ersten fixierten magnetischen Schicht (mit der Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  und der Schichtdicke  $t$ ) auf das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht.

Außerdem ist in einer Weiterbildung ein Magnetowiderstandselement vorgesehen in Form eines Einzel-Drehventil-Magnetowiderstands-Dünnschichtelements, bestehend aus jeweils nur einer antiferromagnetischen Schicht, einer ersten fixierten magnetischen Schicht, einer nichtmagnetischen Zwischenschicht, einer zweiten fixierten magnetischen Schicht, einer nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht und einer freien magnetischen Schicht; wobei für den Fall, daß das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht größer ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht, der Lesestrom dazu gebracht wird, in einer solchen Richtung zu fließen, daß die Richtung des durch den Lesestrom gebildeten Lesestrom-Magnetfelds im Bereich der ersten fixierten magnetischen Schicht/nichtmagnetischen Zwischenschicht/zweiten fixierten magnetischen Schicht die gleiche Richtung ist wie die Richtung des magnetischen Moments der ersten fixierten magnetischen Schicht.

Alternativ schafft die Erfindung ein Magnetowiderstandselement in Form eines Einzel-Drehventil-Dünnschichtelements, bestehend aus jeweils nur einer antiferromagnetischen Schicht, einer ersten fixierten magnetischen Schicht, einer nichtmagnetischen Zwischenschicht, einer zweiten fixierten magnetischen Schicht, einer nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht und einer freien magnetischen Schicht, wobei für den Fall, daß das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht kleiner ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht, der Lesestrom dazu gebracht wird, in einer solchen Richtung zu fließen, daß die Richtung des durch den fließenden Lesestrom erzeugten Lesestrom-Magnetfelds im Bereich der ersten fixierten magnetischen Schicht/der nichtmagnetischen Zwischenschicht/der zweiten fixierten magnetischen Schicht die gleiche Richtung ist wie die Richtung des magnetischen Moments der zweiten fixierten magnetischen Schicht.

Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist die freie magnetische Schicht vorzugsweise aufgeteilt in zwei Schichten mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht.

Außerdem ist bevorzugt die in zwei Schichten aufgeteilte freie magnetische Schicht eingefügte Zwischenschicht aus einem der folgenden Elemente oder einer Legierung mindestens zweier dieser Elemente gebildet: Ru, Rh, Ir, Cr, Re und Cu.

In einer Weiterbildung schafft die Erfindung ein Magnetowiderstandselement in Form eines Doppel-Drehventil-Magnetowiderstandselements, umfassend: nichtmagnetische, elektrisch leitende Schichten oberhalb und unterhalb der die Mitte bildenden freien magnetischen Schicht; drei Schichten in Form der zweiten fixierten magnetischen Schicht/der nicht magnetischen Zwischenschicht/der ersten fixierten magnetischen Schicht oberhalb einer der nicht magnetischen, elektrisch leitenden Schichten und unterhalb der anderen nicht magnetischen, elektrisch leitenden Schicht; und antiferromagnetische Schichten oberhalb der einen ersten fixierten magnetischen Schicht und unterhalb der anderen ersten fixierten magnetischen Schicht; wobei das zusammengesetzte magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht und der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht, und das zusammengesetzte magnetische Moment der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht in zueinander entgegengesetzte Richtungen weisen; und wobei der Lesestrom veranlaßt wird, in einer solchen Richtung zu fließen, daß das durch den Lesestrom hervorgerufene Lesestrom-Magnetfeld im Bereich der ersten fixierten magnetischen Schicht/nichtmagnetischen Zwischenschicht/zweiten fixierten magnetischen Schicht die gleiche Richtung ist wie die Richtung des zusammengesetzten magnetischen Moments, welches oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht gebildet wird.

Was den spezifischen Betrag des magnetischen Moments der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht in dem oben erläuterten Doppel-Drehventil-Magnetowiderstandselement angeht, so muß das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht größer sein als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht, und außerdem muß das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht kleiner sein als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht. Außerdem muß die festgelegte Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schichten oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht in die gleiche Richtung weisen.

Andererseits ist es notwendig, daß das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht kleiner ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht; wobei das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht größer ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht; und wobei weiterhin die festgelegte Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schichten oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht in die gleiche Richtung weist.

Vorzugsweise ist die antiferromagnetische Schicht aus einer PtMn-Legierung gebildet.

Die antiferromagnetische Schicht wird vorzugsweise aus einer X-Mn-Legierung (X ist mindestens eines folgender Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os) oder ist aus einer PtMn-X'-Legierung gebildet (X' ist mindestens eines der folgenden Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Au, Ag).

Vorzugsweise ist ein Dünnschichtelement vorgesehen, bei dem die nicht magnetische Zwischenschicht zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht aus einem der folgenden Elemente oder aus einer Legierung aus mindestens zwei dieser Elemente gebildet ist: Ru, Th, Ir, Cr, Re und Cu.

Die Erfindung schafft außerdem einen Dünnschicht-Magnetkopf mit Abschirmschichten oberhalb und unterhalb des Magnetowiderstandselements, wobei dazwischen Spalt-Schichten eingefügt sind.

Bevorzugt wird die in dem Magnetowiderstandselement befindliche fixierte magnetische Schicht in zwei Schichten unterteilt, wobei zwischen den beiden Schichten eine nichtmagnetische Zwischenschicht liegt.

Die Magnetisierung der aufgeteilten beiden fixierten magnetischen Schichten erfolgt so, daß ein antiparalleler Zustand eingenommen wird, wobei es sich um einen sogenannten Ferri-Zustand handelt, bei dem der Betrag des magnetischen Moments der einen fixierten magnetischen Schicht sich von dem des magnetischen Moments der anderen fixierten magnetischen Schicht unterscheidet. Das Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung), welches zwischen den beiden fixierten magnetischen Schichten erzeugt wird, ist äußerst groß, beträgt etwa 1000 (Oe) bis 5000 (Oe), so daß die zwei fixierten magnetischen Schichten sich in einem äußerst stabilen Zustand der antiparallelen Magnetisierung befinden.

Eine der in den antiparallelen Zustand (Ferri-Zustand) magnetisierten fixierten magnetischen Schichten ist in Kontakt mit der antiferromagnetischen Schicht ausgebildet, wobei die Magnetisierung dieser Schicht (im folgenden als "erste fixierte magnetische Schicht" bezeichnet) wegweisend von einer Ebene fixiert ist, die beispielsweise einem Aufzeichnungsträger zugewandt ist (das heißt in Höhenrichtung), was mit Hilfe des Austausch-Koppelmagnetfelds (eines anisotropen Austausch-Magnetfelds) geschieht, welches an der Grenzfläche zwischen der fixierten magnetischen Schicht und der antiferromagnetischen Schicht erzeugt wird. Folglich wird die Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht zugewandten fixierten magnetischen Schicht mit der dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht ("zweite fixierte magnetische Schicht") in einem Zustand fixiert, der antiparallel bezüglich der Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht ist.

Erfindungsgemäß wird derjenige Bereich, der üblicherweise aus zwei Schichten, nämlich der antiferromagnetischen Schicht und der fixierten magnetischen Schicht, bestand, mit vier Schichten ausgebildet, nämlich einer antiferromagnetischen Schicht, einer ersten fixierten magnetischen Schicht, einer nichtmagnetischen Zwischenschicht und einer zweiten fixierten magnetischen Schicht, wodurch der Magnetisierungszustand der ersten fixierten magnetischen Schicht und der zweiten fixierten magnetischen Schicht sich in einem äußerst stabilen Zustand hinsichtlich äußerer Magnetfelder halten läßt.

In den vergangenen Jahren hat die Aufzeichnungsdichte bei Datenträgern ständig zugenommen, und dementsprechend

ist die Betriebstemperatur in den Geräten gestiegen, bedingt durch eine Zunahme der Drehzahl der Aufzeichnungsträger, einer Erhöhung des Lesestroms und dergleichen, so daß die damit einhergehende Zunahme der Lesestrom-Magnetfelder den Magnetisierungszustand der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht möglicherweise instabil macht.

Der Lesestrom wird veranlaßt, in einer Richtung zu fließen, die die Magnetisierungsrichtung der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht (das heißt die Richtung der Magnetisierung in der freien magnetischen Schicht oder die dazu entgegengesetzte Richtung) kreuzt oder schneidet, allerdings wird entsprechend der Korkenzieherregel durch den fließenden Lesestrom ein Lesestrom-Magnetfeld erzeugt, und dieses Lesestrom-Magnetfeld dringt ein in die erste fixierte magnetische Schicht, die nichtmagnetische Zwischenschicht, die zweite fixierte magnetische Schicht, und zwar in der gleichen oder in der entgegengesetzten Magnetisierungsrichtung wie die erste fixierte magnetische Schicht (oder die zweite fixierte magnetische Schicht).

Wie oben erläutert, ist das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht so eingestellt, daß es sich von demjenigen der zweiten fixierten magnetischen Schicht unterscheidet, um dadurch die Magnetisierung der ersten und die der zweiten fixierten magnetischen Schicht in einen antiparallelen Zustand zu bringen. Erfindungsgemäß wird die Differenz im Betrag des magnetischen Moments zwischen ersten und zweiter fixierter magnetischer Schicht dazu benutzt, zu veranlassen, daß der Lesestrom in eine geeignete Richtung fließt, derzufolge der Magnetisierungszustand der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht von dem Lesestrom-Magnetfeld in einen thermisch stabileren Zustand gebracht wird. Falls bei dem Magnetowiderstandselement das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht größer als dasjenige der zweiten fixierten magnetischen Schicht ist, weist das zusammengesetzte magnetische Moment, welches durch Addition der magnetischen Momente der ersten und zweiten fixierten magnetischen Schicht erhalten wird, in die gleiche Richtung wie das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht.

Die Erfindung ermöglicht einen thermisch stabileren Zustand der Magnetisierung der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht dadurch, daß die Richtung eingestellt wird, in der der Lesestrom fließt, demzufolge das Lesestrom-Magnetfeld, welches im Bereich der ersten fixierten magnetischen Schicht/der nichtmagnetischen Zwischenschicht/der zweiten fixierten magnetischen Schicht gebildet wird, übereinstimmt mit der Richtung des zusammengesetzten magnetischen Moments.

Außerdem ermöglicht die Erfindung, daß bei einem Doppel-Drehventil-Magnetowiderstandselement der Magnetisierungszustand der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht thermisch stabil ist, indem das magnetische Moment und weitere Größen der ersten fixierten magnetischen Schicht und das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht so eingestellt werden, daß die zusammengesetzten magnetischen Momente, die oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht erzeugt werden, einander entgegengesetzt sind, um dadurch zu veranlassen, daß der Lesestrom derart fließt, daß das Lesestrom-Magnetfeld, welches im Bereich der ersten fixierten magnetischen Schicht, der nichtmagnetischen Schicht und der zweiten fixierten magnetischen Schicht gebildet wird, übereinstimmt mit der Richtung des zusammengesetzten magnetischen Moments.

In einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, daß mehrere Bedingungen außer der Richtung des Lesestroms dazu benutzt werden, die Magnetisierungsstabilität der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht zu steigern.

Die erste Bedingung ist die, daß das Austausch-Koppelmagnetfeld (das anisotrope Austausch-Magnetfeld) verstärkt wird, welches an der Grenzfläche zwischen der antiferromagnetischen und der ersten fixierten magnetischen Schicht gebildet wird. Wie oben ausgeführt, wird die Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht von dem Austausch-Koppelmagnetfeld, welches an der Grenzfläche bezüglich der antiferromagnetischen Schicht erzeugt wird, in eine gewisse Richtung festgelegt, für den Fall allerdings, daß dieses Austausch-Kopplungsmagnetfeld schwach ist, stabilisiert sich die festgelegte Richtung der ersten fixierten magnetischen Schicht nicht und ändert sich leicht bei Einfluß durch ein äußeres Magnetfeld und ähnliches. Folglich ist es zu bevorzugen, wenn das Austausch-Koppelmagnetfeld (das anisotrope Austausch-Magnetfeld), welches an der Grenzfläche bezüglich der antiferromagnetischen Schicht erzeugt wird, stark ist, und die vorliegende Erfindung verwendet für die antiferromagnetische Schicht eine PtMn-Legierung, wodurch an der Grenzfläche bezüglich der ersten fixierten magnetischen Schicht ein starkes Austausch-Koppelmagnetfeld erhalten werden kann. Außerdem wird vorzugsweise eine X-Mn-Legierung (X ist mindestens eines der folgenden Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru und Os) oder eine PtMn-X'-Legierung (X' ist mindestens eines der folgenden Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Au und Ag) anstelle der PtMn-Legierung verwendet. Diese antiferromagnetischen Werkstoffe haben hervorragende Eigenschaften, indem sie ein stärkeres Austausch-Koppelmagnetfeld erzeugen als NiO, FeMn-Legierungen, NiMn-Legierungen und dergleichen, die üblicherweise als ferromagnetische Werkstoffe verwendet wurden, und die außerdem hohe Sperrtemperaturen und hervorragende Korrosionsbeständigkeit sowie weitere gute Eigenschaften besitzen.

Fig. 26 zeigt die R-H-Kurven eines Magnetowiderstands-Dünnschichtelements gemäß der Erfindung mit einer ferromagnetischen Schicht aus einer PtMn-Legierung, wobei die fixierte magnetische Schicht in zwei Schichten mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Schicht aufgeteilt ist, gegenübergestellt einem bekannten Magnetowiderstandselement, bei dem die fixierte magnetische Schicht als Einzelschicht ausgebildet ist.

Der Schichtaufbau des Magnetowiderstandselements gemäß der Erfindung lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid/Ta (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (200)/erste fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (7)/zweite fixierte magnetische Schicht aus Co (20)/Cu (20)/Co (10)/NiFe(40)/Ta (30). Die Angaben in den Klammern bedeuten die Schichtdicke in Angström. Der Schichtaufbau des bekannten Magnetowiderstandselements lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Ta (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (300)/fixierte magnetische Schicht aus Co (25) / Cu (20) / Co (10) / NiFe (40)/Ta (30).

Ein Magnetowiderstandselement gemäß der Erfindung wurde ebenso wie ein bekanntes Magnetowiderstandselement hergestellt, beide Elemente wurden vier Stunden lang einer Wärmebehandlung bei 260°C ausgesetzt, während ein Magnetfeld von 200 (Oe) angelegt wurde.

Aus Fig. 26 ist ersichtlich, daß der  $\Delta\text{MR}$  (Geschwindigkeit der Widerstandsänderung) des erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselements höchstens zwischen 7 und 8% lag und bei Anlegen eines äußeren Magnetfelds der  $\Delta\text{MR}$ -Wert abfiel, wobei allerdings der Abfall des  $\Delta\text{MR}$ -Werts bei dem erfindungsgemäßen Element langsamer stattfand als der Abfall

bei dem bekannten Magnetowiderstandselement.

Vereinbarungsgemäß soll nun erfindungsgemäß der Betrag des äußeren Magnetfelds zur Zeit des  $\Delta$ MR-Abfalls auf den halben Maximalwert dasjenige Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) sein, welches von dem Magnetowiderstandselement erzeugt wird.

- 5 Gemäß Fig. 26 beträgt der Maximum- $\Delta$ MR des bekannten Magnetowiderstandselements etwa 8%, und das äußere Magnetfeld, bei dem der  $\Delta$ MR-Wert auf die Hälfte abfällt (das Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex)) beträgt etwa 900 (Oe) absolut.

- Im Vergleich dazu beträgt bei dem erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselement der maximale  $\Delta$ MR-Wert etwa 7,5%, was etwas weniger ist als bei der bekannten Anordnung, das äußere Magnetfeld, bei dem  $\Delta$ MR auf die Hälfte sinkt (das Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex)), beträgt etwa 2800 (Oe) absolut, was viel mehr ist.

- Es läßt sich also verstehen, daß das Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) deutlich gesteigert werden kann mit Hilfe des erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselements, bei dem die fixierte magnetische Schicht in zwei Schichten aufgeteilt ist, verglichen mit dem bekannten Magnetowiderstandselement, bei dem die fixierte magnetische Schicht eine Einzelschicht ist, demzufolge die Stabilität der Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht erfindungsgemäß gegenüber der bekannten Anordnung erhöht werden kann. Außerdem fällt der  $\Delta$ MR-Wert bei dem erfindungsgemäßen Element nicht so stark ab wie bei der bekannten Anordnung, so daß ein hoher  $\Delta$ MR-Wert erhalten bleibt.

Fig. 27 ist eine grafische Darstellung der Relation zwischen der Umgebungstemperatur und dem Austausch-Kopplungsmagnetfeld, wobei zur Darstellung vier Typen von Magnetowiderstands-Dünnschichtelementen vom Drehventil-Typ hergenommen wurden.

- 20 Der erste Typ des Magnetowiderstandselements ist ein erfindungsgemäßes Element, bei dem für die antiferromagnetische Schicht eine PtMn-Legierung verwendet und die fixierte magnetische Schicht in zwei Schichten unterteilt wurde. Der Schichtaufbau lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid:  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ta}$  (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (200)/erste fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (7)/zweite fixierte magnetische Schicht aus Co (20)/Cu (20)/Co (20)/NiFe (70)/Ta (30).

- 25 Der zweite Typ ist ein erstes herkömmliches Magnetowiderstandsbaulement mit einer antiferromagnetischen Schicht aus einer PtMn-Legierung, wobei die fixierte magnetische Schicht eine Einzelschicht ist. Der Filmaufbau dieses Elements lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid:  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ta}$  (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (300)/fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/Cu (25)/Co (10)/NiFe (70)/Ta (30).

- 30 Der dritte Typ ist ein zweites herkömmliches Magnetowiderstandselement, bei dem für die antiferromagnetische Schicht NiO verwendet wurde und bei dem die fixierte magnetische Schicht eine Einzelschicht ist. Der Schichtaufbau von unten nach oben lautet: Si-Substrat/Aluminiumoxid:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /antiferromagnetische Schicht aus NiO (500)/fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/Cu (25)/Co (10)/NiFe (70)/Ta (30).

Der vierte Typ ist ein drittes herkömmliches Magnetowiderstandselement, bei dem für die antiferromagnetische Schicht eine FeMn-Legierung verwendet und die fixierte magnetische Schicht als Einzelschicht ausgebildet wurde.

- 35 Der Schichtaufbau von unten nach oben lautet: Si-Substrat/Aluminiumoxid:  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ta}$  (30)/NiFe (70)/Co (10)/Cu (25)/fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/antiferromagnetische Schicht aus FeMn (150)/Ta (30). Bei sämtlichen vier Typen von Dünnschichtelementen bedeuten die Angaben in den Klammern die Schichtdicke in Angström.

- Die Erfindung und das erste konventionelle Beispiel mit einer PtMn-Legierung für die antiferromagnetische Schicht wurden vier Stunden lang einer Wärmebehandlung bei 260°C unterzogen, währenddessen ein Magnetfeld von 200 (Oe) angelegt wurde. Das zweite und das dritte Beispiel, bei denen NiO bzw. FeMn für die antiferromagnetische Schicht verwendet wurde, wurden keiner Wärmebehandlung im Anschluß an die Schichtausbildung unterzogen.

Wie in Fig. 27 zu sehen ist, beträgt bei dem Magnetowiderstandselement gemäß der Erfindung das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) etwa 2500 (Oe) bei einer Umgebungstemperatur von etwa 20°C, was ausgesprochen hoch ist.

- 45 Im Vergleich dazu beträgt beim zweiten herkömmlichen Beispiel mit einer antiferromagnetischen Schicht aus NiO und dem dritten konventionellen Beispiel der antiferromagnetischen Schicht aus FeMn das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) lediglich etwa 500 (Oe), sogar bei einer Umgebungstemperatur von 20°C, was wenig ist. Auch bei dem ersten konventionellen Beispiel mit der antiferromagnetischen Schicht aus PtMn, bei dem die fixierte magnetische Schicht als Einzelschicht ausgebildet ist, wird bei Umgebungstemperatur von etwa 20°C ein Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) von etwa 1000 (Oe) erzeugt, so daß man ersehen kann, daß man hierdurch ein stärkeres Austausch-Kopplungsmagnetfeld erzielen kann als bei Verwendung von NiO (zweites konventionelles Beispiel) bzw. FeMn (drittes konventionelles Beispiel) für die antiferromagnetische Schicht.

- Die US-A-5 701 223 zeigt ein Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom Drehventil-Typ, welches für die antiferromagnetische Schicht NiO verwendet, wobei die fixierte magnetische Schicht in zwei Schichten mit einer dazwischenliegenden magnetischen Schicht aufgeteilt ist. Fig. 8 der Schrift zeigt anhand der R-H-Kurve, daß das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) einen Wert von 600 (Oe) hat, wobei sich allerdings versteht, daß dies wenig ist im Vergleich zu dem Austausch-Kopplungsmagnetfeld (etwa 1000 (Oe) bei dem ersten herkömmlichen Beispiel), welches dann entsteht, wenn für die antiferromagnetische Schicht eine PtMn-Legierung verwendet wird, dabei aber die fixierte magnetische Schicht noch als Einzelschicht ausgebildet ist.

- Das bedeutet: Falls für die antiferromagnetische Schicht MnO verwendet wird, erbringt das Aufteilen der fixierten magnetischen Schicht in zwei Schichten und das Magnetisieren dieser beiden Schichten in einem Ferri-Zustand nur ein Austausch-Kopplungsmagnetfeld, das schwächer ist als bei einer Anordnung, bei der für die antiferromagnetische Schicht eine PtMn-Legierung verwendet wird und die fixierte magnetische Schicht eine Einzelschicht ist. Man sieht also, daß die Verwendung einer PtMn-Legierung für die antiferromagnetische Schicht bei einem gewünschten größeren Austausch-Kopplungsmagnetfeld zu bevorzugen ist.

- 65 Außerdem ist in Fig. 23 ersichtlich, daß dann, wenn für die antiferromagnetische Schicht NiO oder FeMn-Legierung verwendet wird, das Austausch-Kopplungsmagnetfeld auf 0 (Oe) absinkt, wenn die Umgebungstemperatur 200°C erreicht; dies deshalb, weil die Sperrtemperatur von NiO und FeMn-Legierungen bei etwa nur 200°C liegt.

Wenn hingegen wie bei dem ersten konventionellen Beispiel mit einer PtMn-Legierung für antiferromagnetische

Schicht das Austausch-Koppelmagnetfeld auf 0 (Oe) abfällt, so ist bereits eine Umgebungstemperatur von 400°C erreicht. Hieraus ist ersichtlich, daß die Verwendung einer PtMn-Legierung ermöglicht, den Magnetisierungszustand der fixierten magnetischen Schicht temperaturmäßig in einem extrem stabilen Zustand zu halten.

Die Sperrtemperatur wird beherrscht von dem für antiferromagnetische Schicht verwendeten Werkstoff, so bei dem erfindungsgemäßen Magnetowiderstands-Dünnschichtelement, wie dies in Fig. 27 verdeutlicht ist. Man kann sehen, daß das Austausch-Koppelmagnetfeld erst bei einer Umgebungstemperatur von 400°C auf 0 (Oe) abfällt, man kann aber mit Maßnahmen ausgehend von der Verwendung von PtMn-Legierungen für die antiferromagnetische Schicht gemäß der Erfindung Sperrtemperaturen erreichen, die höher liegen als die bei Verwendung von NiO oder dergleichen. Außerdem läßt sich ein äußerst starkes Austausch-Kopplungsmagnetfeld beim Annähern an die Sperrtemperatur dadurch erreichen, daß man die fixierte magnetische Schicht in zwei Teilschichten aufteilt und diese beiden Schichten mit einer Magnetisierung im Ferri-Zustand ausstattet, so daß der Magnetisierungszustand der beiden fixierten magnetischen Schichten thermisch stabil gehalten werden kann.

In einer speziellen Ausgestaltung der Erfindung wird die zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht liegende nichtmagnetische Schicht aus einem der folgenden Elemente oder aus einer Legierung aus mindestens zwei dieser Elemente gebildet: Ru, Rh, Ir, Cr, Re und Cu. Die Dicke der nichtmagnetischen Schicht ändert sich in Abhängigkeit davon, ob die antiferromagnetische Schicht oberhalb oder unterhalb der freien magnetischen Schicht ausgebildet ist. Die nicht-magnetische Zwischenschicht ist mit einer Dicke in einem angemessenen Bereich ausgebildet, so daß sich das Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) verstärken läßt. Die geeignete Dicke für die nichtmagnetische Zwischenschicht wird weiter unten anhand grafischer Darstellungen ausführlicher erläutert.

Weiterhin ermöglicht die erfindungsgemäße Unterteilung der fixierten Zwischenschicht in zwei Einzelschichten das Erhalten eines stärkeren Austausch-Koppelmagnetfelds (Hex) auch dann, wenn die aus einer PtMn-Legierung oder ähnlichem hergestellte antiferromagnetische Schicht dünner gemacht wird, was bedeutet, daß diese Schicht, bei der es sich um die dickste Schicht in dem Magnetowiderstandselement handelt, dünner ausgebildet und damit die Gesamtdicke des Bauelements verringert werden kann. Eine Verringerung der Dicke der antiferromagnetischen Schicht ermöglicht eine Verringerung des Abstands von der Spalt-Schicht auf der Unterseite des Dünnschichtelements zu der Spaltschicht auf der Oberseite des Dünnschichtelements, d. h. eine Reduzierung der Spalt-Länge, und zwar auch dann, wenn die Dicke der oberhalb und unterhalb des Dünnschichtelements gebildeten Spalt-Schicht groß genug sind, um für eine ausreichende Isolierung zu sorgen. Man kann also mit geringen Spaltgrößen arbeiten. Für den Fall, daß die fixierte magnetische Schicht in eine erste und eine zweite fixierte magnetische Schicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Schicht aufgetrennt ist, wie es bei der Erfindung der Fall ist, so ist durch Versuche gezeigt worden, daß das Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) und der AMR-Wert (die Geschwindigkeit der Widerstandsänderung) drastisch abfallen, wenn die erste und die zweite fixierte magnetische Schicht mit gleicher Dicke ausgebildet sind. Es wird angenommen, daß dieser Umstand darauf zurückzuführen ist, daß bei Ausbildung der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht mit gleicher Dicke die Schwierigkeit entsteht, einen antiparallelen Zustand (Ferri-Zustand) zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht aufrechtzuerhalten. Wenn der antiparallele Zustand zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht nicht aufrecht erhalten werden kann, läßt sich der Relativwinkel bzgl. der schwankenden Magnetisierung der freien magnetischen Schicht nicht in angemessener Weise steuern.

Erfindungsgemäß werden also die erste und die zweite fixierte magnetische Schicht mit ungleicher Dicke ausgebildet, was die Erzielung eines starken Austausch-Koppelmagnetfelds ermöglicht, wobei gleichzeitig der AMR-Wert angehoben wird auf Werte entsprechend denen bei bekannten Anordnungen. Das Dickenverhältnis zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht wird weiter unten anhand grafischer Darstellungen noch näher erläutert.

Wie oben ausgeführt wurde, läßt sich erfindungsgemäß das Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) des gesamten Magnetowiderstandselements dadurch erhöhen, daß man die fixierte magnetische Schicht aufteilt in eine erste und eine zweite fixierte magnetische Schicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Schicht, ferner dadurch, daß man als antiferromagnetisches Material eine PtMn-Legierung oder dergleichen verwendet, wodurch ein starkes Austausch-Kopplungsmagnetfeld (anisotropes Austausch-Kopplungsmagnetfeld) an der Grenzfläche bzgl. der ersten fixierten magnetischen Schicht erhalten wird, demzufolge der Magnetisierungszustand der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht in einem temperaturmäßig stabilen antiparallelen Zustand (Ferri-Zustand) gehalten werden kann.

Insbesondere wird die Richtung des durch den Fluß eines Lesestroms entstehenden Lesestrom-Magnetfelds so eingestellt, daß sie übereinstimmt mit der Richtung eines zusammengesetzten magnetischen Moments, welches man durch Addieren des magnetischen Moments der ersten fixierten magnetischen Schicht und des magnetischen Moments der zweiten fixierten magnetischen Schicht erhält. Hierzu wird die Richtung des Lesestroms entsprechend gesteuert, und man erhält einen thermisch stabilen Zustand für die Magnetisierung der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht.

Ein dritter Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht in einem Verfahren eines Einzel-Drehventil-Magnetowiderstands-Dünnschichtelements, welches aufweist:

eine antiferromagnetische Schicht;

eine fixierte magnetische Schicht, die in Kontakt mit der antiferromagnetischen Schicht ausgebildet ist, wobei ihre Magnetisierungsrichtung durch das Austausch-Kopplungsmagnetfeld in eine gewisse Richtung festgelegt wird, welches an der Grenzfläche zwischen der fixierten magnetischen Schicht und der antiferromagnetischen Schicht mittels Wärmebehandlung in einem Magnetfeld erzeugt wird; und

eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht zwischen einer freien magnetischen Schicht und der fixierten magnetischen Schicht, wobei die Magnetisierungsrichtung der freien magnetischen Schicht so ausgerichtet ist, daß sie sich mit der Magnetisierungsrichtung der fixierten magnetischen Schicht schneidet,

und wobei das Dünnschichtelement aus einer antiferromagnetischen Schicht, einer fixierten magnetischen Schicht, einer nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht und einer freien magnetischen Schicht in jeweils einem Exemplar besteht; umfassend die folgenden Schritte:

einen Prozeß zur Bildung des magnetischen Moments der ersten fixierten magnetischen Schicht (wobei die Sättigungs-

magnetisierung  $M_s$  und die Schichtdicke  $t$  beträgt) und des magnetischen Moments der zweiten fixierten magnetischen Schicht (wobei die Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  und die Schichtdicke  $t$  beträgt) in der Weise, daß sie voneinander im Betrag abweichen, wenn die fixierte magnetische Schicht aufgeteilt wird in zwei Schichten, nämlich eine erste fixierte magnetische Schicht in Berührung mit der antiferromagnetischen Schicht, und eine zweite fixierte magnetische Schicht in Kontakt mit der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht, wobei zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht eine nichtmagnetische Zwischenschicht liegt; und einen Prozeß, bei dem im Zuge der Wärmebehandlung in einem Magnetfeld im Anschluß an die Ausbildung des Einzel-Drehventil-Magnetowiderstands-Dünnschichtelements ein Magnetfeld von 100 bis 1000 Oe oder ein Magnetfeld von 5 kOe oder darüber in der Richtung angelegt wird, in die die Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht weisen soll, falls das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht größer ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht, oder ein Magnetfeld von 100 bis 1000 Oe in der Richtung entgegengesetzt der gewünschten Magnetisierungsrichtung der ersten fixierten magnetischen Schicht oder ein Magnetfeld von 5 kOe oder darüber in der Richtung angelegt wird, in die die Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht beweisen soll, falls das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht kleiner ist als dasjenige der zweiten fixierten magnetischen Schicht.

Im Rahmen der Erfindung können die Schichten des Einzel-Drehventil-Magnetowiderstandselements von unten nach oben in folgender Reihenfolge angeordnet sein: antiferromagnetische Schicht, erste fixierte magnetische Schicht, nichtmagnetische Zwischenschicht, zweite fixierte magnetische Schicht, nichtmagnetische elektrisch leitende Schicht und freie magnetische Schicht, oder es ist eine Anordnung von unten nach oben in folgender Reihenfolge möglich: freie magnetische Schicht, nichtmagnetische elektrisch leitende Schicht, zweite fixierte magnetische Schicht, nichtmagnetische Zwischenschicht, erste fixierte magnetische Schicht und antiferromagnetische Schicht.

Außerdem kann erfindungsgemäß die freie magnetische Schicht aufgeteilt werden in zwei Schichten mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Schicht.

Die Erfindung schafft außerdem ein Verfahren zum Herstellen eines Magnetowiderstands-Dünnschichtelements vom "Drehventil"-Typ, um ein Doppel-Drehventil-Dünnschichtelement herzustellen, welches aufweist:

nichtmagnetische, elektrisch leitende Schichten oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht, die sich in der Mitte befindet;

fixierte magnetische Schichten oberhalb der einen der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht sowie unterhalb der anderen der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schichten, wobei deren Magnetisierung in eine Richtung festgelegt ist; und

antiferromagnetische Schichten oberhalb der einen und unterhalb der anderen fixierten magnetischen Schicht, umfassend folgende Schritte:

einen Prozeß zum Erzeugen einer derartigen Differenz in unterteilten fixierten magnetischen Schichten oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht zur Zeit der Unterteilung der fixierten magnetischen Schicht in zwei Schichten, nämlich in eine erste fixierte magnetische Schicht in Kontakt mit der antiferromagnetischen Schicht und eine zweite fixierte magnetische Schicht in Kontakt mit der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht, wobei dazwischen eine nichtmagnetische Zwischenschicht liegt, daß das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht (wobei die Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  und die Schichtdicke  $t$  beträgt) auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht größer ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht (mit der Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  und der Schichtdicke  $t$ ) auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht, und außerdem in der Weise, daß das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht (mit der Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  und der Schichtdicke  $t$ ) auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht kleiner ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht (mit der Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  und der Schichtdicke  $t$ ) auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht, oder derart, daß das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht kleiner ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht, und außerdem derart, daß das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht größer ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht; und

einen Prozeß zum Anlegen eines Magnetfelds von 5 kOe oder mehr in der Richtung, in die die Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht zeigen soll, während das Austausch-Kopplungsmagnetfeld an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten magnetischen Schicht und der antiferromagnetischen Schicht oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht durch Wärmebehandlung in einem Magnetfeld im Anschluß an die Ausbildung der Schichten des Doppel-Drehventil-Dünnschichtbauelements erzeugt wird, um dadurch die Magnetisierung der beiden fixierten magnetischen Schichten in dieselbe Richtung festzulegen.

Außerdem läßt sich die Erfindung derart ausgestalten, daß das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht größer ist als dasjenige der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht, und außerdem das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht größer ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht, wobei ein Magnetfeld von 100 bis 1000 Oe oder ein Magnetfeld von 5 kOe oder darüber in der Richtung angelegt wird, in der die Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht zeigen soll, wobei alternativ das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht kleiner gemacht ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht, und ferner das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht kleiner gemacht wird als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht, wobei ein Magnetfeld von 100 bis 1000 Oe in der Richtung angelegt wird, die entgegen der gewünschten Magnetisierungsrichtung der ersten fixierten magnetischen Schicht gerichtet ist, oder ein Magnetfeld von 5 kOe oder darüber in der Richtung angelegt wird, in der die Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht zeigen soll, um dadurch die Magnetisierung beider erster fixierter magnetischer Schichten oberhalb und unterhalb der



freien magnetischen Schicht in die gleiche Richtung festzulegen.

Außerdem schafft die Erfindung ein weiteres Verfahren zum Herstellen eines Magnetowiderstands-Dünnschichtelements vom "Drehventil"-Typ, um ein Doppel-Drehventil-Dünnschichtelement herzustellen, welches aufweist: nichtmagnetische, elektrisch leitende Schichten oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht, die sich in der Mitte befindet;

fixierte magnetische Schichten oberhalb der einen der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schichten sowie unterhalb der anderen der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schichten, wobei deren Magnetisierung in eine Richtung festgelegt ist; und

antiferromagnetische Schichten oberhalb der einen und unterhalb der anderen fixierten magnetischen Schicht, umfassend folgende Schritte:

einen Prozeß zum Unterteilen der freien magnetischen Schicht in die beiden Schichten, nämlich eine erste freie magnetische Schicht und eine zweite freie magnetische Schicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht, und zum Ausrichten der Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht und derjenigen der zweiten fixierten magnetischen Schicht in antiparalleler Weise;

einen Prozeß zum Erzeugen einer Differenz in den abgeteilten fixierten magnetischen Schichten im Zuge der Unterteilung der fixierten magnetischen Schicht in die beiden Schichten, nämlich eine erste fixierte magnetische Schicht und eine zweite fixierte magnetische Schicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht, derart, daß das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht (mit der Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  und der Schichtdicke  $t$ ) auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht größer ist als dasjenige der zweiten fixierten magnetischen Schicht (mit der Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  und der Schichtdicke  $t$ ) auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht, und außerdem derart, daß das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht (mit der Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  und der Schichtdicke  $t$ ) auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht kleiner ist als dasjenige der zweiten fixierten magnetischen Schicht (mit der Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  und der Schichtdicke  $t$ ) auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht, oder derart, daß das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht kleiner ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht, und außerdem derart, daß das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht größer ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht; und einen Prozeß zum Anlegen eines Magnetfelds von 100 bis 1000 Oe in der Richtung, in die die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht weisen soll, während ein Austausch-Koppelmagnetfeld an der Schnittstelle zwischen der ersten fixierten magnetischen Schicht und der antiferromagnetischen Schicht oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht mit Hilfe der Wärmebehandlung in einem Magnetfeld im Anschluß an die Ausbildung des Doppel-Drehventil-Dünnschichtelements erzeugt wird, um dadurch die Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schichten oberhalb und unterhalb der freien Magnetschicht in antiparalleler Weise auszurichten.

Bevorzugt besteht die antiferromagnetische Schicht aus einer PtMn-Legierung. Außerdem läßt sich die antiferromagnetische Schicht aus einer X-Mn-Legierung (X ist mindestens eines der folgenden Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os) oder einer PtMn-X'-Legierung bilden (X' ist mindestens eines folgender Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Au, Ag), anstatt der PtMn-Legierung.

Außerdem schafft die Erfindung in einer Weiterbildung ein Verfahren, bei dem die nichtmagnetische Zwischenschicht zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht aus einem der folgenden Elemente oder einer Legierung aus mindestens zwei der folgenden Elemente gebildet ist: Ru, Rh, Ir, Ce, Re und Cu.

Außerdem schafft die Erfindung in einer Weiterbildung ein Verfahren zur Herstellung eines Dünnschicht-Magnetkopfs, der das oben beschriebene Magnetowiderstandselement oberhalb einer unteren Abschirmschicht und einer dazwischenliegenden Lücken-Schicht enthält, ferner mit einer oberen Abschirmschicht oberhalb des Magnetowiderstandselements und einer dazwischenliegenden Lücken-Schicht.

Erfindungsgemäß wird die fixierte magnetische Schicht in dem Magnetowiderstands-Dünnschichtelement in zwei Schichten aufgetrennt, wobei eine nichtmagnetische Zwischenschicht eingefügt wird.

Die Magnetisierung der zwei aufgeteilten fixierten magnetischen Schichten erfolgt in antiparallelem Zustand, außerdem gibt es einen sogenannten Ferri-Zustand, bei dem der Betrag des magnetischen Moments der einen fixierten magnetischen Schicht sich von dem des magnetischen Moments der anderen fixierten magnetischen Schicht unterscheidet. Das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung), welches zwischen den beiden fixierten magnetischen Schichten erzeugt wird, ist äußerst stark, beträgt etwa 1000 (Oe) bis 5000 (Oe), so daß die beiden fixierten magnetischen Schichten einen äußerst stabilen Zustand der antiparallelen Magnetisierung aufweisen.

Nun wird die eine der fixierten magnetischen Schichten, die in antiparallelem Zustand (Ferri-Zustand) magnetisiert sind, so gebildet, daß sie im Kontakt mit der antiferromagnetischen Schicht steht, und die Magnetisierung dieser fixierten magnetischen Schicht (im folgenden als "erste fixierte magnetische Schicht") bezeichnet, wird in einer Richtung festgelegt, die wegweist von einer Ebene, die z. B. einem Aufzeichnungsträger gegenüberliegt (d. h. in Höhen-Richtung), was durch das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (ein anisotropes Austauschmagnetfeld) geschieht, welches an der Grenzfläche zwischen der fixierten magnetischen Schicht und der antiferromagnetischen Schicht erzeugt wird. Folglich wird die Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht über die nichtmagnetische Zwischenschicht gegenüberliegenden fixierten magnetischen Schicht (im folgenden als "zweite fixierte magnetische Schicht") in einem Zustand festgelegt, welcher antiparallel ist bezüglich der Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht.

Erfindungsgemäß ist derjenige Bereich, der üblicherweise aus zwei Schichten bestand, nämlich der antiferromagnetischen Schicht und der fixierten magnetischen Schicht, nunmehr in Form von vier Schichten ausgebildet, nämlich der antiferromagnetischen Schicht/der ersten fixierten magnetischen Schicht/der nichtmagnetischen Zwischenschicht / der zweiten fixierten magnetischen Schicht. Hierdurch läßt sich der Magnetisierungszustand der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht bzgl. äußerer Magnetfelder in einem extrem stabilen Zustand halten. Besonders in solchen Fällen, in denen erfindungsgemäß als antiferromagnetisches Material ein Material erzeugt wird, welches zum Erzeugen



Austausch-Kopplungsmagnetfelds an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten magnetischen Schicht und der antiferromagnetischen Schicht eine Wärmebehandlung in einem Magnetfeld unterzogen wird, muß die Richtung und muß der Betrag des Magnetfelds während der Wärmebehandlung richtig gesteuert werden, ansonsten läßt sich die Magnetisierung der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht nicht in einem antiparallelen Zustand halten.

Ein Problem bei der Magnetisierungssteuerung der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht ist auch die Beziehung zwischen der schwankenden Magnetisierung der freien magnetischen Schicht und der festgelegten Magnetisierung der zweiten fixierten magnetischen Schicht oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht, falls es sich um ein Doppel-Magnetowiderstandselement handelt.

Bei einem Doppel-Magnetowiderstandselement sind oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht jeweils nichtmagnetische elektrisch leitende Schichten und fixierte magnetische Schichten ausgebildet, so daß sich ein stärkerer  $\Delta MR$ -Wert (Geschwindigkeit der Widerstandsänderung) erwarten läßt als bei einem Einzel-Magnetowiderstandselement. Allerdings muß die Geschwindigkeit der Widerstandsänderung entsprechend der Beziehung zwischen der schwankenden Magnetisierung der freien magnetischen Schicht und der oberhalb der freien magnetischen Schicht ausgebildeten zweiten fixierten magnetischen Schicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen elektrisch leitenden Schicht ebenso wie die Geschwindigkeit der Widerstandsänderung gemäß der Beziehung zwischen der schwankenden Magnetisierung der freien magnetischen Schicht und der zweiten fixierten magnetischen Schicht unterhalb der freien magnetischen Schicht mit der dazwischenliegenden nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht die gleiche Schwankung zeigen, und zu diesem Zweck muß die Richtung der festgelegten Magnetisierung der zweiten fixierten magnetischen Schicht richtig gesteuert werden.

D. h., die Richtung der festgelegten Magnetisierung der zweiten fixierten magnetischen Schicht muß derart passend gesteuert werden, daß für den Fall, daß die Geschwindigkeit der Widerstandsänderung an der Oberseite der freien magnetischen Schicht ein Maximum ist, die Geschwindigkeit der Widerstandsänderung an der Unterseite der freien magnetischen Schicht ebenfalls ein Maximum ist, und in dem Fall, daß die Geschwindigkeit der Widerstandsänderung auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht ein Minimum ist, auch die Geschwindigkeit der Widerstandsänderung an der Unterseite der freien magnetischen Schicht ein Minimum ist.

Erfindungsgemäß werden daher die Werte des magnetischen Moments der ersten fixierten magnetischen Schicht und des magnetischen Moments der zweiten fixierten magnetischen Schicht passend eingestellt in Verbindung mit der Justierung von Größe und Richtung des während der Wärmebehandlung angelegten Magnetfelds, um dadurch in passender Weise die festgelegte Magnetisierungsrichtung der ersten fixierten magnetischen Schicht und die festgelegte Magnetisierung der zweiten fixierten magnetischen Schicht zu steuern.

Bezugnehmend auf Fig. 21 ist der Unterschied zwischen einem erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselement, bei dem die fixierte magnetische Schicht in eine erste und eine zweite fixierte Schicht aufgeteilt ist, dargestellt durch eine Hystereseschleife im Vergleich zu einem bekannten Magnetowiderstandselement, bei dem die fixierte magnetische Schicht als Einzelschicht ausgebildet ist.

Fig. 26 zeigt die R-H-Kurven eines erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselements, bei dem ein PtMn-Legierung für die ferromagnetische Schicht verwendet ist und die fixierte magnetische Schicht aufgeteilt ist in eine erste und eine zweite fixierte magnetische Schicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Schicht, wobei diesem erfindungsgemäßen Element ein bekanntes Magnetowiderstandselement gegenübergestellt ist, bei dem die fixierte magnetische Schicht eine Einzelschicht ist.

Der Schichtaufbau des erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselements ist von unten nach oben: das Si-Substrat/Aluminiumoxid/Ta (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (200)/erste fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (7) F/zweite magnetische Schicht aus Co (20)/Cu (20)/Co (10)/NiFe (40)/Ta (30). Die Angaben in den Klammern bedeuten die Schichtdicken in Angström. Bei dem bekannten Magnetowiderstandselement lautet der Schichtaufbau von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid:  $Al_2O_3$ /Ta (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (300)/fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/Cu (20)/Co (10)/NiFe (40)/Ta (30).

Es wurden jeweils ein erfindungsgemäßes und ein bekanntes Magnetowiderstandselement ausgebildet und anschließend vier Stunden lang einer Wärmebehandlung bei  $260^\circ$  unterzogen, während ein Magnetfeld von 200 Oe angelegt wurde.

Aus Fig. 26 läßt sich entnehmen, daß der  $\Delta MR$ -Wert (Geschwindigkeit der Widerstandsänderung) der erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselementes höchstens zwischen 7 und 8% liegt, während der  $\Delta MR$ -Wert bei Anlegen eines negativen äußeren Magnetfelds absinkt, allerdings bei dem erfindungsgemäßen Element langsamer absinkt als bei dem bekannten Element.

Erfindungsgemäß ist nun der Betrag des äußeren Magnetfelds, dann, wenn  $\Delta MR$  auf den halben Maximalwert abgefallen ist, vereinbarungsgemäß das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex), welches von dem Magnetowiderstandselement erzeugt wird.

Wie in Fig. 26 gezeigt ist, beträgt der maximale  $\Delta MR$ -Wert bei dem bekannten Element etwa 8%, und das äußere Magnetfeld, bei dem  $\Delta MR$  auf die Hälfte abfällt (das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex)), beträgt etwa 900 Oe absolut.

Im Vergleich dazu beträgt bei dem erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselement der maximale  $\Delta MR$ -Wert etwa 7,5%, was etwas weniger ist als bei dem bekannten Element, das äußere Magnetfeld, bei dem  $\Delta MR$  auf den halben Wert sinkt (das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex)) beträgt aber etwa 2800 Oe absolut, was viel höher ist.

Hieraus läßt sich ersehen, daß das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) dadurch deutlich verstärkt werden kann, daß man das erfindungsgemäße Magnetowiderstandselement verwendet, bei dem die fixierte magnetische Schicht in zwei Schichten unterteilt ist, im Gegensatz zu dem bekannten Element mit der als Einzelschicht ausgebildeten fixierten magnetischen Schicht, wobei die Stabilität der Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht sich im Vergleich zu der bekannten Anordnung erhöhen läßt. Außerdem fällt der  $\Delta MR$ -Wert bei dem erfindungsgemäßen Element nicht so stark ab wie bei dem bekannten Element, so daß man bei dem erfindungsgemäßen Element einen hohen  $\Delta MR$ -Wert erhalten kann.

Bei dem erfindungsgemäßen Element wird bevorzugt als antiferromagnetisches Material, das eine Wärmebehandlung

zum Erzeugen eines Austausch-Kopplungsmagnetfelds an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten magnetischen Schicht und der antiferromagnetischen Schicht erfordert, eine PtMn-Legierung immer dann verwendet, wenn irgendeiner der antiferromagnetischen Stoffe eine Wärmebehandlung erfordert.

**Fig. 27** zeigt als graphische Darstellung die Relation zwischen der Umgebungstemperatur und dem Austausch-Kopplungsmagnetfeld für die verschiedenen Fälle, in denen die antiferromagnetische Schicht aus PtMn, NiO oder FeMn besteht.

Der erste Typ des Magnetowiderstandselements ist ein erfindungsgemäßes Element, bei dem PtMn-Legierung für die antiferromagnetische Schicht verwendet wird, und bei dem die fixierte magnetische Schicht in zwei Schichten aufgeteilt ist. Der Schichtaufbau lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid:  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ta}$  (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (200)/erste fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (7)/zweite fixierte magnetische Schicht aus Co (20)/Cu (20)/Co (10)/NiFe (70)/Ta (30).

Der zweite Typ ist ein erstes herkömmliches Beispiel eines Magnetowiderstandselement, bei dem für die antiferromagnetische Schicht eine PtMn-Legierung verwendet ist, und bei dem die fixierte magnetische Schicht eine Einzelschicht ist. Der Schichtaufbau von unten nach oben lautet: Si-Substrat/Aluminiumoxid:  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ta}$  (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (300)/fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/Cu (25)/Co (10)/NiFe (70)/Ta (30).

Der dritte Typ ist ein zweites herkömmliches Magnetowiderstandselement mit NiO für die antiferromagnetische Schicht und der fixierten magnetischen Schicht als Einzelschicht. Der Schichtaufbau von unten nach oben lautet: Si-Substrat/Aluminiumoxid:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /antiferromagnetische Schicht aus NiO (500)/fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/Cu (25)/Co (10)/NiFe (70)/Ta (30).

Der vierte Typ ist ein drittes herkömmliches Magnetowiderstandselement mit einer FeMn-Legierung für die antiferromagnetische Schicht und der fixierten magnetischen Schicht als Einzelschicht. Der Schichtaufbau von unten nach oben lautet: Si-Substrat/Aluminiumoxid:  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ta}$  (30)/NiFe (70)/Co (10)/Cu (25)/fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/antiferromagnetische Schicht aus FeMn (150)/Ta (30).

Bei sämtlichen vier Typen bedeuten die Angabe in den Klammern die Schichtdicken in Angström.

Die Erfindung und das erste konventionelle Beispiel, bei denen eine PtMn-Legierung für die antiferromagnetische Schicht verwendet wurde, wurden vier Stunden lang einer Wärmebehandlung bei  $260^\circ\text{C}$  unterzogen, während ein Magnetfeld von 200 Oe angelegt wurde. Das zweite und das dritte herkömmliche Beispiel mit NiO und FeMn als Material für die antiferromagnetische Schicht wurden keiner Wärmebehandlung unterzogen.

Wie in **Fig. 27** zu sehen ist, beträgt bei dem erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselement das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) etwa 2500 Oe bei einer Umgebungstemperatur von etwa  $200^\circ\text{C}$ , was sehr viel ist.

Im Vergleich dazu beträgt bei dem zweiten konventionellen Beispiel mit NiO für die antiferromagnetische Schicht, und bei dem dritten herkömmlichen Beispiel mit FeMn für die antiferromagnetische Schicht das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) lediglich etwa 500 Oe, sogar bei einer Umgebungstemperatur von etwa  $20^\circ\text{C}$ , was wenig ist. Außerdem wird bei dem ersten konventionellen Beispiel mit PtMn für die antiferromagnetische Schicht und der fixierten magnetischen Schicht in Form einer Einzelschicht ein Austausch-Kopplungsmagnetfeld von etwa 1000 Oe bei einer Umgebungstemperatur von etwa  $20^\circ\text{C}$  erzeugt, woran man erkennen kann, daß man ein stärkeres Austausch-Kopplungsmagnetfeld als bei Verwendung von NiO (zweites konventionelles Beispiel) oder FeMn (drittes konventionelles Beispiel) für die antiferromagnetische Schicht erhält.

Die japanische ungeprüfte Patentveröffentlichung 9-16920 offenbart ein Magnetowiderstands-Dünnschichtelement mit NiO als Material für die antiferromagnetische Schicht, wobei die fixierte magnetische Schicht zwei Schichten mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Schicht umfaßt. Dort ist in **Fig. 8** die RH-Kurve gezeigt, wonach ein Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) von 600 Oe erhalten wird. Hieran läßt sich ersehen, daß dies wenig ist im Vergleich zu dem Austausch-Kopplungsmagnetfeld (etwa 1000 Oe bei dem ersten konventionellen Beispiel), welches dann erzeugt wird, wenn eine PtMn-Legierung für die antiferromagnetische Schicht verwendet wird, die fixierte magnetische Schicht aber gleichwohl eine Einzelschicht ist.

Das heißt: Wenn für die antiferromagnetische Schicht NiO verwendet wird, läßt sich auch bei Auftrennung der fixierten magnetischen Schicht in zwei Einzelschichten und durch Magnetisieren dieser beiden Schichten in einem Ferri-Zustand nur ein Austausch-Kopplungsmagnetfeld erreichen, welches schwächer ist als bei Verwendung von PtMn-Legierung für die antiferromagnetische Schicht bei Beibehaltung der fixierten magnetischen Schicht als Einzelschicht. Hieraus läßt sich ersehen, daß die Verwendung der PtMn-Legierung für die antiferromagnetische Schicht zur Erzielung eines stärkeren Austausch-Kopplungsmagnetfelds zu bevorzugen ist.

Wie außerdem in **Fig. 27** zu sehen ist, wird bei Verwendung von NiO oder FeMn-Legierung für die antiferromagnetische Schicht ein Abfall des Austausch-Kopplungsmagnetfelds auf Null (Oe) verzeichnet, sobald die Umgebungstemperatur  $200^\circ\text{C}$  erreicht; dies deshalb, weil die Sperrtemperatur von NiO und FeMn-Legierungen bei etwa  $200^\circ\text{C}$  liegt, was sehr wenig ist.

Bei dem ersten konventionellen Beispiel, bei dem die PtMn-Legierung als Material für die antiferromagnetische Schicht verwendet wird, fällt das Austausch-Kopplungsmagnetfeld auf Null (Oe) ab, wenn die Umgebungstemperatur  $400^\circ\text{C}$  erreicht, woran man ersehen kann, daß die Verwendung einer PtMn-Legierung ermöglicht, den Magnetisierungszustand in der fixierten magnetischen Schicht temperaturmäßig in einem extrem stabilen Zustand zu halten.

Die Sperrtemperatur wird beherrscht von dem für die antiferromagnetische Schicht verwendeten Werkstoff, so daß bei dem erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselement gemäß **Fig. 27** angenommen werden kann, daß das Austausch-Kopplungsmagnetfeld auf Null (Oe) abfällt, wenn die Umgebungstemperatur  $400^\circ\text{C}$  erreicht, hingegen bei antiferromagnetischen Schichten aus PtMn-Legierungen, was der Erfindung entspricht, Sperrtemperaturen oberhalb jener von NiO oder dergleichen erzielbar sind, wobei außerdem ein sehr starkes Austausch-Kopplungsmagnetfeld während der Annäherung an die Sperrtemperatur dadurch erreicht werden kann, daß man die fixierte magnetische Schicht in zwei Schichten aufteilt und diesen beiden Schichten einen Ferri-Zustand verleiht, demzufolge der Magnetisierungszustand der beiden fixierten magnetischen Schichten thermisch stabil gehalten werden kann.

Bezüglich der antiferromagnetischen Stoffe, die eine Wärmebehandlung erfordern, so kommen anstelle von PtMn-Le-

gierungen zum Erzeugen eines Austausch-Kopplungsmagnetfelds an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten magnetischen Schicht und der antiferromagnetischen Schicht erfindungsgemäß auch folgende Werkstoffe in Betracht: X-Mn-Legierungen (X ist mindestens eines folgender Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os), alternativ dazu kommen PtMn-X'-Legierungen in Betracht (X' ist mindestens eines folgender Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Au, Ag).

Wie oben beschrieben wurde, läßt sich durch die vorliegende Erfindung das Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) des gesamten Magnetowiderstands-Dünnschichtbauelements vom Drehventil-Typ dadurch steigern, daß man die fixierte magnetische Schicht auftrennt in eine erste und eine zweite fixierte magnetische Schicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Schicht, wobei außerdem als antiferromagnetisches Material eine PtMn-Legierung oder ähnliches verwendet wird, welches ein starkes Austausch-Koppelmagnetfeld (ein anisotropes Austauschmagnetfeld) an der Grenzfläche bezüglich der ersten fixierten magnetischen Schicht erzeugt, so daß der Magnetisierungszustand der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht temperaturmäßig in einen stabilen antiparallelen Zustand (Ferri-Zustand) gehalten werden kann. Insbesondere werden erfindungsgemäß der Betrag des magnetischen Moments an der ersten fixierten magnetischen Schicht und an der zweiten fixierten magnetischen Schicht in passender Weise so gesteuert, daß im Verein mit der Steuerung der Größe und der Richtung des während der Wärmebehandlung angelegten Magnetfelds die Magnetisierung der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht in einen thermischen stabilen antiparallelen Zustand gehalten werden kann und die Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht und diejenigen der zweiten fixierten magnetischen Schicht sich einfach in die gewünschte Richtung lenken lassen.

#### Kurze Beschreibung der Figuren

**Fig. 1** ist eine Querschnittansicht eines Magnetowiderstandselements gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

**Fig. 2** ist eine Querschnittansicht eines Magnetowiderstandselements gemäß **Fig. 1** bei Betrachtung von der Seite, die dem Aufzeichnungsträger gegenübersteht;

**Fig. 3** ist eine seitliche Schnittansicht eines Magnetowiderstandselements gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung;

**Fig. 4** ist eine Querschnittansicht des Magnetowiderstandselements nach **Fig. 3** bei Betrachtung von der dem Aufzeichnungsträger gegenüberstehenden Seite;

**Fig. 5** ist eine seitliche Querschnittansicht eines Magnetowiderstandselements nach einer dritten Ausführungsform;

**Fig. 6** ist eine Querschnittansicht des Magnetowiderstandselements nach **Fig. 5** bei Betrachtung von der dem Aufzeichnungsträger gegenüberliegenden Seite;

**Fig. 7** ist eine seitliche Schnittansicht eines Magnetowiderstandselements nach einer vierten Ausführungsform;

**Fig. 8** ist eine Querschnittansicht des Bauelements nach **Fig. 7** bei Betrachtung von der dem Aufzeichnungsträger gegenüberliegenden Seite;

**Fig. 9** ist eine seitliche Querschnittansicht eines Magnetowiderstandselements nach einer fünften Ausführungsform;

**Fig. 10** ist eine Schnittansicht des in **Fig. 9** gezeigten Elements bei Betrachtung von der dem Aufzeichnungsträger zugewandten Seite;

**Fig. 11** ist eine seitliche Querschnittansicht eines Magnetowiderstandselements gemäß einer sechsten Ausführungsform;

**Fig. 12** ist eine Schnittansicht des in **Fig. 11** gezeigten Elements bei Betrachtung von der dem Aufzeichnungsträger gegenüberliegenden Seite;

**Fig. 13** ist eine Schnittansicht eines Aufzeichnungskopfs (Wiedergabekopfs) bei Betrachtung von der dem Aufzeichnungsträger zugewandten Seite;

**Fig. 14** ist eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Dicke einer zweiten fixierten magnetischen Schicht (P2) für den Fall, daß die Dicke einer ersten fixierten magnetischen Schicht (P1) auf 20 oder 40 Angström eingestellt ist, einerseits, und dem Austausch-Koppelmagnetfeld andererseits, und außerdem der Beziehung zwischen (Dicke der ersten fixierten magnetischen Schicht (P1))/(Dicke der zweiten fixierten magnetischen Schicht (P2)) und dem Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex);

**Fig. 15** ist eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Dicke der zweiten fixierten magnetischen Schicht (P2) für den Fall, daß die Dicke der ersten fixierten magnetischen Schicht (P1) 20 oder 40 Angström beträgt, einerseits, und dem  $\Delta MR$ -Wert (%) andererseits;

**Fig. 16** ist eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Dicke der ersten fixierten magnetischen Schicht (P1) für den Fall, daß die zweite fixierte magnetische Schicht (P2) auf 30 Angström eingestellt ist, und dem Austausch-Kopplungsmagnetfeld, außerdem der Beziehung zwischen (Dicke der ersten fixierten magnetischen Schicht P1)/(Dicke der zweiten fixierten magnetischen Schicht P2) und dem Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex);

**Fig. 17** ist eine graphische Darstellung, die die Beziehung der Dicke zwischen der ersten fixierten magnetischen Schicht (P1) für den Fall, daß die zweite fixierte magnetische Schicht (P2) auf 30 Angström eingestellt ist, und  $\Delta MR$  (%) veranschaulicht;

**Fig. 18** ist eine graphische Darstellung, die bezüglich eines Doppel-Magnetowiderstandselements die Beziehung darstellt zwischen der Dicke einer ersten, oberen fixierten magnetischen Schicht und einer ersten, unteren fixierten magnetischen Schicht und dem Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex); und außerdem die Beziehung veranschaulicht zwischen (Dicke der ersten fixierten oberen magnetischen Schicht P1)/(Dicke der zweiten fixierten magnetischen oberen Schicht P2) und (Dicke der ersten oberen fixierten magnetischen Schicht P1)/(Dicke der zweiten fixierten unteren magnetischen Schicht P2), sowie dem Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex);

**Fig. 19** ist eine graphische Darstellung zum Veranschaulichen der Beziehung zwischen der Dicke der Ru-Schicht (der nichtmagnetischen Zwischenschicht) zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht einerseits und dem Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) andererseits;

**Fig. 20** ist eine graphische Darstellung zum Veranschaulichen der Beziehung zwischen der Dicke der PtMn-Schicht

(der antiferromagnetischen Schicht) jedes Magnetowiderstandselements und dem Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) für vier Typen von Magnetowiderstandselementen;

**Fig. 21** zeigt anhand einer graphischen Darstellung für zwei Typen von Doppel-Magnetowiderstandselementen die Beziehung zwischen der Dicke der PtMn-Schicht (der antiferromagnetischen Schicht) für jedes der Doppel-Magnetowiderstandselemente einerseits und dem Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) andererseits;

**Fig. 22** zeigt anhand einer graphischen Darstellung für zwei Typen von Doppel-Magnetowiderstandselementen die Beziehung zwischen der Dicke der die antiferromagnetische Schicht bildenden PtMn-Schicht jedes Magnetowiderstandselements und dem AMR-Wert (%);

**Fig. 23** zeigt anhand einer graphischen Darstellung die Beziehung zwischen der Dicke der zweiten freien magnetischen Schicht (F2) für den Fall, daß die Dicke der ersten freien magnetischen Schicht (F1) auf 50 Angström eingestellt ist, und dem Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex), ferner die Beziehung zwischen (Dicke der ersten freien Magnetschicht F1)/(Dicke der zweiten freien Magnetschicht F2) und dem Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex);

**Fig. 24** zeigt in graphischer Darstellung die Relation zwischen der Dicke der ersten freien Magnetschicht (F1) für den Fall, daß die Dicke der zweiten freien Magnetschicht (F2) 20 Angström beträgt, und dem  $\Delta$ MR-Wert (%), ferner die Relation zwischen (Dicke der ersten freien Magnetschicht F1)/(Dicke der zweiten freien Magnetschicht F2) und  $\Delta$ MR (%);

**Fig. 25** ist eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Dicke der Ru-Schicht (der nichtmagnetischen Zwischenschicht) zwischen der ersten und der zweiten freien magnetischen Schicht (F1, F2) und dem Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex);

**Fig. 26** zeigt die Hystereseschleife eines erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselements einerseits und eines bekannten Magnetowiderstandselements andererseits;

**Fig. 27** ist eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Umgebungstemperatur ( $^{\circ}$ C) und dem Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) für mehrere Magnetowiderstandselemente, bei denen die antiferromagnetische Schicht einmal aus PtMn, in einem weiteren Fall aus NiO und in einem noch weiteren Fall aus FeMn besteht;

**Fig. 28** ist eine Querschnittansicht eines bekannten Magnetowiderstandselements bei Betrachtung von der dem Aufzeichnungsträger zugewandten Seite; und

**Fig. 29** ist eine seitliche Schnittansicht des in **Fig. 28** dargestellten Magnetowiderstandselements.

#### Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

Oberhalb und unterhalb dieses Magnetowiderstands-Dünnschichtelements vom "Drehventil"-Typ, welches im folgenden vereinfacht auch als Magnetowiderstandselement oder als Dünnschichtelement bezeichnet wird, sind Abschirmungsschichten ausgebildet, wobei jeweils Spalt-Schichten dazwischen liegen, um hierdurch einen Dünnschicht-Magnetowiderstandskopf für die Wiedergabe (MR-Kopf) aus dem Magnetowiderstandselement, den Spalt-Schichten und den Abschirmungsschichten zu bilden. Außerdem kann ein zur Aufzeichnung dienender induktiver Kopf schichtweise oben auf dem Wiedergabe-Dünnschicht-Magnetowiderstandskopf ausgebildet sein.

Dieser Dünnschicht-Magnetowiderstandskopf ist z. B. an dem nachlaufenden Rand eines schwimmenden Gleitstücks in einem Festplattenlaufwerk angebracht, um aufgezeichnete Magnetfelder von der Festplatte zu lesen. Die Bewegungsrichtung des magnetischen Aufzeichnungsträgers, z. B. einer Festplatte, entspricht hier der Richtung Z in der Zeichnungsfigur, die Richtung des streuenden Magnetfelds, welches von dem magnetischen Aufzeichnungsträger ausgeht, entspricht der Y-Richtung. Bei dem in **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellten Magnetowiderstandselement handelt es sich um ein Einzel-Magnetowiderstandselement vom Drehventil-Typ, bestehend aus folgenden, jeweils in einem Exemplar vorhandenen Schichten: einer antiferromagnetischen Schicht, einer fixierten magnetischen Schicht, einer nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht und einer freien magnetischen Schicht. Die ganz unten ausgebildete Schicht ist eine Basis-schicht **10** aus einem nichtmagnetischen Material wie z. B. Ta. In den **Fig. 1** und **2** ist auf der Basisschicht **10** eine antiferromagnetische Schicht **11** ausgebildet, und auf dieser wiederum ist eine erste fixierte magnetische Schicht **12** gebildet. Gemäß **Fig. 1** befinden sich auf dieser Schicht **12** zunächst eine nichtmagnetische Zwischenschicht **13** und dann eine zweite fixierte magnetische Schicht **14** auf der Schicht **13**.

Die erste und die zweite fixierte magnetische Schicht **12** bzw. **14** bestehen aus beispielsweise Co, einer NiFe-Legierung, einer Co-NiFe-Legierung, einer Co-Fe-Legierung oder dergleichen.

Außerdem wird es im Rahmen der Erfindung bevorzugt, wenn die antiferromagnetische Schicht **11** aus einer PtMn-Legierung gebildet ist. PtMn-Legierungen haben bessere Korrosionsbeständigkeit als NiMn-Legierungen oder FeMn-Legierungen, die früher für antiferromagnetische Schichten verwendet wurden, außerdem ist die Sperrtemperatur hoch, und man kann ein starkes Austausch-Kopplungsmagnetfeld (ein anisotropes Austausch-Magnetfeld) erhalten. Im Rahmen der Erfindung kann man auch X-Mn-Legierungen (X ist mindestens eines der folgenden Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os) oder PtMn-X'-Legierungen verwenden (X' ist mindestens eines der folgenden Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Au, Ag), anstatt die Schicht aus PtMn-Legierungen zu fertigen.

Die in **Fig. 1** dargestellten Pfeile für die erste bzw. die zweite fixierte magnetische Schicht **12** und **14** repräsentieren Betrag und Richtung des magnetischen Moments für die jeweilige Schicht, wobei sich der Betrag des magnetischen Moments durch einen Wert bestimmt, den man durch Multiplizieren der Sättigungsmagnetisierung ( $M_s$ ) mit der Schichtdicke ( $t$ ) erhält.

Die in **Fig. 1** gezeigte erste und zweite fixierte magnetische Schicht **12** und **14** bestehen aus dem gleichen Material, sind z. B. als Co-Schicht ausgebildet, wobei die Dicke  $t_{p2}$  der zweiten fixierten magnetischen Schicht **14** größer gewählt ist als die Dicke  $t_{p1}$ , der ersten fixierten magnetischen Schicht **12**, demzufolge die Schicht **14** ein größeres magnetisches Moment als die erste fixierte magnetische Schicht **12** besitzt. Erfindungsgemäß wird gefordert, daß die erste fixierte magnetische Schicht **12** und die zweite fixierte magnetische Schicht **14** unterschiedliche magnetische Momente haben, so daß die Dicke  $t_{p1}$  der ersten Schicht **12** größer ist als die Dicke  $t_{p2}$  der zweiten fixierten magnetischen Schicht **14**.

Wie in **Fig. 1** gezeigt ist, ist die erste fixierte magnetische Schicht **12** in Y-Richtung magnetisiert, d. h. in der Richtung fort von dem Aufzeichnungsträger (in Höhenrichtung), und die Magnetisierung der zweiten fixierten magnetischen

Schicht 14, die der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 über die nichtmagnetische Zwischenschicht 13 gegenüberliegt, ist antiparallel zu der ersten Schicht 12 magnetisiert.

Die erste fixierte magnetische Schicht 12 steht in Kontakt mit der antiferromagnetischen Schicht 11, wobei ein Glühen (eine Wärmebehandlung) in einem Magnetfeld veranlaßt, daß ein Austausch-Kopplungsmagnetfeld (ein anisotropes Austauschmagnetfeld) an der Grenzfläche zwischen der Schicht 12 und der antiferromagnetischen Schicht 11 gebildet wird, so daß gemäß Fig. 1 beispielsweise die Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 in Y-Richtung festgelegt wird. Nachdem erst einmal die Magnetisierung der ersten Schicht 12 in Y-Richtung festgelegt ist, wird die Magnetisierung der zweiten fixierten magnetischen Schicht 14, die der ersten Schicht 12 über die nichtmagnetische Zwischenschicht 13 gegenübersteht, in einer Weise festgelegt, daß sie antiparallel zur Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 verläuft.

Die Erfindung optimiert die Anordnung so, daß die Dicke  $t_{p1}$  der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 und die Dicke  $t_{p2}$  der zweiten fixierten magnetischen Schicht 14 und außerdem das Verhältnis  $(t_{p1})/(t_{p2})$  vorzugsweise in einem Bereich von 0,33 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 4 liegt. In diesen Bereichen kann man ein starkes Austausch-Kopplungsmagnetfeld erzielen, allerdings hat dieses die Neigung, sogar in diesen angegebenen Bereichen schwächer zu werden, falls die Dicke der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 und diejenige der zweiten Schicht 14 zunimmt, so daß die vorliegende Erfindung die Dicke der ersten Schicht 11 ebenso wie die Dicke der zweiten Schicht 14 in passender Weise einstellt.

Bei der vorliegenden Erfindung wird bevorzugt, daß die Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 und die Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten fixierten magnetischen Schicht 14 beide im Bereich von 10 bis 70 Angström liegen, wobei ein Absolutwert, erhalten durch Subtrahieren der Schichtdicke  $t_{p2}$  für die Schicht 14 von der Schichtdicke  $t_{p1}$  für die Schicht 12 gleich oder größer als 2 Angström ist.

Die Einstellung des Schichtdickenverhältnisses und der Schichtdicken selbst in der Weise, daß die Werte in den oben angegebenen Bereichen liegen, liefert ein Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) von mindestens 500 (Oe). Der Begriff "Austausch-Kopplungsmagnetfeld" (oder Austausch-Koppelmagnetfeld) beschreibt den Zustand, der Stärke eines äußeren Magnetfelds dann, wenn der  $\Delta MR$ -Wert (die Geschwindigkeit der Widerstandsänderung) dem halben Maximalwert von  $\Delta MR$  entspricht. Das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) ist ein Gesamtkonzept, welches das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (das inisotrope Austauschmagnetfeld), welches an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten magnetischen Schicht 11 und der antiferromagnetischen Schicht 11 erzeugt wird, und das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung), das zwischen der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 und der zweiten fixierten magnetischen Schicht 14 erzeugt wird, beinhaltet.

Außerdem ist es im Rahmen der Erfindung besonders bevorzugt, wenn  $(t_{p1})/(t_{p2})$ , also das Verhältnis der Schichtdicken der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht, in einem Bereich von 0,53 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 1,8 liegt. Auch in diesen Bereichen sollte bevorzugt die Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten Schicht 12 und die Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten Schicht 14 jeweils in einem Bereich von 10 bis 50 Angström liegen, wobei der Absolutwert, erhalten durch Subtrahieren der Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten Schicht 14 von der Schichtdicke  $t_{p1}$  der Schicht 12, größer oder gleich 2 Angström ist. Das Einstellen des Schichtdickenverhältnisses zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht 12 bzw. 14 und der Schichtdicken  $t_{p1}$  der ersten Schicht 12 sowie der Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten Schicht 14 selbst in der Weise, daß die Werte in den oben angegebenen Bereichen liegen, liefert ein Austausch-Kopplungsmagnetfeld von mindestens 1000 (Oe).

Wenn man das Schichtdickenverhältnis und die Schichtdicken in den angegebenen Bereichen hält, läßt sich das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) verstärken, und außerdem läßt sich der  $\Delta MR$ -Wert (d. h. die Geschwindigkeit der Widerstandsänderung) auf einen Pegel anheben, wie er bei bekannten Anordnungen gegeben ist.

Je stärker das Austausch-Kopplungsmagnetfeld ist, desto größer ist die Stabilität des Magnetisierungszustands der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 und der zweiten fixierten magnetischen Schicht 14, die einen antiparallelen Zustand bilden. Die vorliegende Erfindung setzt insbesondere eine PtMn-Legierung ein, die eine hohe Sperrtemperatur besitzt, um die antiferromagnetische Schicht 11 zu bilden, und sie schafft ein starkes Austausch-Koppelmagnetfeld (anisotropes Austauschmagnetfeld) an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 und der antiferromagnetischen Schicht 11, so daß der Magnetisierungszustand der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht 11 und 14 thermisch stabil gehalten werden kann.

Falls die erste und die zweite fixierte magnetische Schicht 12 und 14 aus dem gleichen Material gebildet sind, könnte man die beiden Schichten mit gleicher Dicke ausbilden. Allerdings haben Versuche gezeigt, daß das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) ebenso wie der  $\Delta MR$ -Wert drastisch sinkt. Es wird angenommen, daß dies auf den Umstand zurückzuführen ist, daß, wenn der Wert  $M_s \cdot t_{p1}$  (magnetisches Moment) der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 und  $M_s \cdot t_{p2}$  (magnetisches Moment) der zweiten fixierten magnetischen Schicht 14 den gleichen Wert haben, kein antiparalleler Zustand zwischen der Magnetisierung der Schicht 12 und der Magnetisierung der Schicht 14 besteht, das Ausmaß der Richtungsdispersion der Magnetisierung (der Betrag des magnetischen Moments, welches in unterschiedliche Richtungen zielt) zunimmt und dementsprechend der relative Winkel bezüglich der Magnetisierung der später noch zu beschreibenden freien magnetischen Schicht 16 nicht in angemessener Weise gesteuert werden kann.

Um diese Probleme zu lösen, ist es zunächst erforderlich, daß die erste und die zweite fixierte magnetische Schicht 12 und 14 unterschiedliche Werte für  $M_s \cdot t$  haben, d. h. man muß die Dicke der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 verschieden machen von derjenigen der Schicht 14, falls die beiden Schichten 12 und 14 aus gleichem Material bestehen sollten.

Wie oben erläutert, ist das Schichtdickenverhältnis zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht 12 und 14 in dem angegebenen Bereich passend, so daß der Bereich, in welchem die Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 und die Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten fixierten magnetischen Schicht 14 annähernd gleich groß sind, also ein Schichtdickenbereich von 0,95 bis 1,05, von dem erfindungsgemäß vorgeschlagenen, passenden Bereich ausgeschlossen ist.

Falls ein antiferromagnetisches Material, beispielsweise eine PtMn-Legierung für die antiferromagnetische Schicht 11

verwendet wird und diese Schicht im Anschluß an ihre Ausbildung in einem Magnetfeld gegläht wird (einer Wärmebehandlung unterzogen wird), wie es die vorliegende Erfindung vorsieht, um dadurch ein starkes Austausch-Kopplungsmagnetfeld (ein anisotropes Austauschmagnetfeld) an der Grenzfläche zwischen der Schicht 12 und der antiferromagnetischen Schicht 11 zu erhalten, so wird selbst in dem Fall, daß die Schicht 12 und die Schicht 14 verschiedene Werte von  $M_s \cdot t$  haben, die Richtung sowie der Betrag des während der Wärmebehandlung angelegten Magnetfelds in geeigneter Weise gesteuert, ansonsten nimmt möglicherweise das Maß der Richtungsdispersion der Magnetisierung der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht 12 und 14 zu, oder man kann die Magnetisierung nicht in einer gewünschten Richtung lenken.

Tabelle 1

$M_s \cdot t_{p1}$  für die erste fixierte magnetische Schicht  $> M_s \cdot t_{p2}$  für die zweite fixierte magnetische Schicht

Magnetisierungs- richtung während der Wärmebehandlung	(1) 100 bis 1 kOe nach links	(2) 100 bis 1 kOe nach rechts	(3) 5 kOe oder größer nach rechts	(4) 5 kOe oder mehr nach links
Richtung der ersten fixierten magnetischen Schicht	<-----	----->	----->	<-----
Richtung der zweiten fixierten magnetischen Schicht	--->	<---	--->	<---

Die Tabelle 1 zeigt wie für den Fall, daß  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 12 größer ist als  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 14, eine Änderung des Betrags und der Richtung des Magnetfelds während der Wärmebehandlung die Magnetisierungsrichtung der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht 12 und 14 ändert.

Unter (1) ist in Tabelle 1 angegeben, daß in Richtung nach links 100 (Oe) bis 1 (kOe) angelegt werden als Magnetfeld bei der Wärmebehandlung. In diesem Fall ist  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 12 größer als  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 14, so daß die Magnetisierung der dominanten ersten fixierten magnetischen Schicht 12 der Richtung des angelegten Magnetfelds folgt und sich in der Figur nach links wendet, während die Magnetisierung der zweiten fixierten magnetischen Schicht 14 versucht, einen antiparallelen Zustand aufgrund des Austausch-Kopplungsmagnetfeldes (RKKY-Wechselwirkung) einzunehmen, welches von der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 erzeugt wird.

Unter (2) ist in Tabelle 1 gezeigt, daß ein Magnetfeld von 100 (Oe) bis 1 (kOe) nach rechts angelegt wird, so daß die Magnetisierung der dominanten ersten Schicht 12 der Richtung des angelegten Magnetfelds folgt und in der Figur nach rechts geschwenkt wird, während die Magnetisierung der zweiten Schicht 14 einen antiparallelen Zustand bezüglich der Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 einnimmt.

Unter (3) ist in Tabelle 1 ein Magnetfeld von 5 (kOe) oder größer nach rechts angelegt, demzufolge die Magnetisierung der dominanten ersten fixierten magnetischen Schicht 12 der Richtung des angelegten Magnetfelds folgt und sich nach rechts wendet. Das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung), das zwischen der ersten fixierten Magnetschicht 12 und der zweiten fixierten Magnetschicht 14 erzeugt wird, beläuft sich auf etwa 1000 (Oe) bis 5 (kOe), so daß bei Anlegen eines Magnetfelds von 5 (kOe) oder stärker auch die zweite fixierte magnetische Schicht 14 der Richtung des angelegten Magnetfelds folgt, d. h. sich in der Figur nach rechts wendet. In der gleichen Weise ist in Tabelle 1 bei (4) gezeigt, daß ein Magnetfeld von 5 (kOe) oder mehr nach links angelegt wird, so daß die Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 und diejenige der zweiten fixierten magnetischen Schicht 14 nach links gewendet werden.

Tabelle 2

$M_s \cdot t_{p1}$  der ersten fixierten magnetischen Schicht  $< M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten fixierten magnetischen Schicht

Magnetisierungs- richtung während der Wärmebehandlung	(1) 100 bis 1 kOe nach links	(2) 100 bis 1 kOe nach rechts	(3) 5 kOe oder größer nach rechts	(4) 5 kOe oder mehr nach links
Richtung der ersten fixierten magnetischen Schicht	--->	<---	--->	<---
Richtung der zweiten fixierten magnetischen Schicht	<-----	----->	----->	<-----

Tabelle 2 zeigt wie, wenn  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 12 kleiner ist als  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 14, die Änderung des Betrags und der Richtung des Magnetfelds während der Wärmebehandlung die Magnetisierungsrichtung der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht 12 und 14 ändert.

Bei (1) in Tabelle 2 ist gezeigt, daß ein Magnetfeld von 100 (Oe) bis 1 (kOe) nach links angelegt wird. In diesem Fall wird die Magnetisierung der zweiten Schicht 14 mit dem größeren Wert von  $M_s \cdot t_{p2}$  dominant, so daß die Magnetisierung der zweiten fixierten magnetischen Schicht 14 der Richtung des angelegten Magnetfelds folgt und sich nach links wendet. Die Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 nimmt einen antiparallelen Zustand bezüglich der Magnetisierung der Schicht 14 aufgrund des Austausch-Kopplungsmagnetfeldes (RKKY-Wechselwirkung) an, wel-

ches zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht **12** und **14** erzeugt wird. In der gleichen Weise ist unter (2) in Tabelle 2 gezeigt, daß ein Magnetfeld von 100 (Oe) bis 1 (kOe) nach rechts angelegt wird, demzufolge die Magnetisierung der dominanten zweiten fixierten magnetischen Schicht **14** sich in der Figur nach rechts wendet, die Magnetisierung der ersten Schicht hingegen nach links gewendet wird.

- Bei (3) in Tabelle 2 ist angegeben, daß ein Magnetfeld von 5 (kOe) oder mehr nach rechts angelegt wird, so daß die Magnetisierung beider fixierter magnetischer Schichten **12** und **13** nach rechts gewendet wird, bedingt durch die Einwirkung eines magnetischen Feldes, welches größer ist als das Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung), das zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht **12** und **14** gebildet wird. Unter (4) ist in Tabelle 2 angegeben, daß ein Magnetfeld von 5 (kOe) oder stärker nach links angelegt wird, so daß die Magnetisierung der beiden fixierten magnetischen Schichten **12** und **14** nach links gewendet wird.

Für den Fall, daß die Magnetisierung der ersten Schicht **12** nach rechts zu lenken sind, ist in Tabelle 2 die passende Richtung und der passende Betrag des Magnetfelds für die Wärmebehandlung bei (1) und (3) und in Tabelle 1 bei (2) und (3) angegeben.

- Bei (2) und (3) in Tabelle 1 wird die Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht **12**, die einen größeren Wert von  $M_s \cdot t_1$  hat, durch das nach rechts weisende angelegte Magnetfeld bei der Wärmebehandlung beeinflusst wendet sich nach rechts. Zu diesem Zeitpunkt wird die Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht **12** in die rechte Richtung festgelegt aufgrund des Austausch-Kopplungsmagnetfeldes (das anisotrope Austauschmagnetfeld), welches an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten magnetischen Schicht **12** und der antiferromagnetischen Schicht **11** durch die Wärmebehandlung erzeugt wird. Bei (3) in Tabelle 1 veranlaßt ein Verschwinden des magnetischen Feldes von 5 (kOe) oder darüber, daß die Magnetisierung der zweiten fixierten magnetischen Schicht **14** aufgrund des zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht **12** und **14** erzeugten Austausch-Koppelmagnetfelds umgekehrt wird und sich nach links wendet.

- In der gleichen Weise wird gemäß (1) und (3) in Tabelle 2 die nach rechts weisende Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht **12** durch das Austausch-Koppelmagnetfeld an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten magnetischen Schicht **12** und der antiferromagnetischen Schicht **11** festgelegt auf die Richtung nach rechts. Bei (3) in Tabelle 2 führt die Entfernung des Magnetfeldes von 5 (kOe) oder mehr dazu, daß die Magnetisierung der zweiten fixierten magnetischen Schicht **14** umgekehrt wird aufgrund des Austausch-Koppelmagnetfelds (RKKY-Wechselwirkung), welches zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht **12** und **14** erzeugt wird, so daß eine Festlegung nach links stattfindet.

- Wie aus Tabelle 1 und Tabelle 2 ersichtlich, beträgt die Stärke des während der Wärmebehandlung angelegten Magnetfelds entweder 100 (Oe) bis 1 k(Oe) oder 5 k(Oe) oder mehr, wobei Magnetfelder im Bereich von 1000 (Oe) bis 5 k(Oe) aus dem geeigneten Bereich ausgeschlossen sind. Die Gründe hierfür werden im folgenden erläutert.

- Wird ein Magnetfeld angelegt, versucht die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht mit einem größeren Wert von  $M_s \cdot t$ , sich in die Richtung dieses Magnetfelds zu drehen. Falls allerdings die Stärke des Magnetfelds im Bereich von 1000 (Oe) bis 5 k(Oe) während der Wärmebehandlung liegt, wird auch die Magnetisierung der fixierten Schicht mit dem kleineren Wert von  $M_s \cdot t$  stark von dem Magnetfeld beeinflusst und versucht, sich in Richtung dieses Magnetfelds zu drehen. Folglich wird die Magnetisierung jeder der beiden fixierten magnetischen Schichten, die an sich versuchen sollten, einen antiparallelen Zustand aufgrund des zwischen den fixierten magnetischen Schichten erzeugten Austausch-Koppelmagnetfelds (RKKY-Wechselwirkung) einzunehmen, durch das starke Magnetfeld beeinflusst, so daß keine antiparallele Orientierung entsteht, wobei die Stärke der sogenannten Richtungsdispersion der Magnetisierung, bei der das magnetische Moment in unterschiedliche Richtungen weist, zunimmt und demzufolge die Magnetisierung jeder der beiden fixierten magnetischen Schichten sich nicht in geeigneter Weise antiparallel magnetisieren läßt. Demzufolge sind Magnetfelder im Bereich von 1000 (Oe) bis 5 k(Oe) von dem geeigneten Bereich gemäß der Erfindung ausgeschlossen. Der Grund dafür, daß die Stärke des Magnetfelds während der Wärmebehandlung auf 100 (Oe) oder darüber eingestellt wird, besteht darin, daß jedes schwächere Magnetfeld nicht in der Lage wäre, die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht mit dem größeren Wert von  $M_s \cdot t$  in die Richtung des Magnetfelds zu lenken.

- Das oben beschriebene Verfahren zum Steuern von Betrag und Richtung des Magnetfelds während der Wärmebehandlung läßt sich bei jeder Art von antiferromagnetischem Material einsetzen, solange dieses für eine antiferromagnetische Schicht **11** verwendet wird, die eine Wärmebehandlung erfordert, anwendbar ist das Verfahren auch bei einer NiMn-Legierung, wie sie üblicherweise für die antiferromagnetische Schicht verwendet wird.

- Auf diese Weise ist die Erfindung in der Lage, das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (Hex) dadurch zu verstärken, daß das Schichtdicken-Verhältnis zwischen erster und zweiter fixierter magnetischer Schicht **12** und **14** in einem geeigneten Bereich gehalten wird. Außerdem kann die Magnetisierung der ersten und der zweiten fixierten Schicht **12** und **14** in einem thermisch stabilen antiparallelen Zustand (Ferri-Zustand) gehalten werden, und darüber hinaus kann der  $\Delta MR$ -Wert (die Rate der Widerstandsänderung) auf einem Wert gehalten werden, der demjenigen bei bekannten Anordnungen entspricht.

Durch geeignetes Steuern von Betrag und Richtung des Magnetfelds während der Wärmebehandlung kann die Magnetisierungsrichtung der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht **12** und **14** in eine gewünschte Richtung gelenkt werden.

- Das magnetische Moment (die magnetische Schichtdicke), wie sie oben angesprochen wurde, läßt sich errechnen als das Produkt aus der Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  und der Schichtdicke  $t$ . Beispielsweise ist es bekannt, daß bei massivem, festem NiFe die Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  etwa 1,0 T (Teslar) beträgt, während der Wert bei massivem Co für die Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  etwa 1,7 T beträgt. Falls also die Schichtdicke des vorerwähnten NiFe 30 Angström beträgt, beläuft sich die magnetische Schichtdicke der NiFe-Schicht auf 30 Angström-Teslar. Die magnetostatische Energie einer ferromagnetischen Schicht bei Anlegen eines äußeren Magnetfelds ist proportional zu der magnetischen Schichtdicke multipliziert mit dem äußeren Magnetfeld, so daß bei einer ferromagnetischen Schicht mit einer großen magnetischen Schichtdicke und einer ferromagnetischen Schicht mit kleiner magnetischer Schichtdicke dann, wenn die beiden Schichten sich aufgrund der RKKY-Wechselwirkung im Fern-Zustand befinden und sich zwischen ihnen eine



nichtmagnetische Zwischenschicht befindet, die magnetische Schicht mit der größeren magnetischen Schichtdicke dazu neigt, in die Richtung des äußeren Magnetfelds gelenkt zu werden.

Allerdings ist bekannt, daß dann, wenn die ferromagnetische Schicht in flächiger Berührung mit einer nichtmagnetischen Schicht, beispielsweise aus Tantal (Ta), Ruthenium (Ru), Kupfer (Cu) etc. steht, oder dann, wenn die ferromagnetische Schicht in Flächenkontakt mit einer antiferromagnetischen Schicht steht, beispielsweise einer PtMn-Schicht oder dergleichen, die Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  der ferromagnetischen Schicht in der Nähe der Grenzfläche mit der nichtmagnetischen bzw. der antiferromagnetischen Schicht kleiner wird als die Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  des massiven Volumenmaterials, da die Atome der nichtmagnetischen oder der antiferromagnetischen Schicht sich in direkter Berührung mit den Atomen der ferromagnetischen Schicht (Ni-Fe, Co) befinden. Außerdem ist bekannt, daß dann, wenn die Wärmebehandlung bei einer mehrlagigen Schicht aus ferromagnetischem Film und nichtmagnetischem Film und antiferromagnetischen Schichten besteht, die Grenzflächendispersion aufgrund der Wärmebehandlung fortschreitet und die Verteilung in Dickenrichtung der Schicht in der Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  der ferromagnetischen Schicht zum Ausdruck kommt. Das heißt: es handelt sich um ein Phänomen, bei dem die Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  in Bereichen nahe der nichtmagnetischen oder der antiferromagnetischen Schicht gering ist, während sich die Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  dem Wert für das massive Volumen des Materials ändert, wenn die betrachtete Stelle weiter von der Grenzfläche bezüglich der nichtmagnetischen oder antiferromagnetischen Schicht entfernt ist.

Die Verringerung der Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  der ferromagnetischen Schicht in Bereichen nahe der nichtmagnetischen oder der antiferromagnetischen Schicht hängt ab vom Material der nichtmagnetischen Schicht, dem Material der antiferromagnetischen Schicht, der Reihenfolge der Schichtbildung, der Temperatur bei der Wärmebehandlung etc., und jeder Wert muß unter bestimmten Bedingungen exakt eingestellt werden. Die magnetische Schichtdicke gemäß der Erfindung ist ein Wert, der sich berechnen läßt unter Berücksichtigung des Ausmaßes der Verringerung der Sättigungsmagnetisierung  $M_s$ , wie sie durch die thermische Dispersion bei dem nichtmagnetischen Film oder den antiferromagnetischen Schichten stattfindet.

Um an der Grenzfläche zwischen der PtMn-Schicht und der ferromagnetischen Schicht aufgrund der Wärmebehandlung ein Austausch-Koppelmagnetfeld zu erhalten, muß eine Dispersionsschicht an der Grenzfläche zwischen der PtMn-Schicht und der ferromagnetischen Schicht gebildet werden, wobei allerdings die Verringerung der Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  der ferromagnetischen Schicht zur Zeit der Bildung der Dispersionsschicht abhängt von der Reihenfolge der Schichtbildung der PtMn-Schicht und der ferromagnetischen Schicht.

Insbesondere wenn gemäß Fig. 1 die antiferromagnetische Schicht 11 niedriger liegt als die freie magnetische Schicht 16, kommt es leicht zu einer thermischen Dispersionsschicht an der Grenzfläche zwischen der antiferromagnetischen Schicht 11 und der ersten fixierten magnetischen Schicht 12. Folglich ist die magnetische Schichtdicke der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 geringer als die eigentliche Schichtdicke  $t_{p1}$ . Allerdings wird dann, wenn die magnetische Schichtdicke der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 zu klein wird, die Differenz der magnetischen Schichtdicke (das magnetische Moment) bezüglich der zweiten fixierten magnetischen Schicht 14 zu groß, und das Verhältnis der thermischen Dispersionsschicht in der ersten fixierten Schicht 12 wird zu groß, was zu einer problematischen Verschlechterung des Austausch-Kopplungsmagnetfelds führt.

Daraus folgt, daß erfindungsgemäß zur Erreichung des Ziels, daß eine antiferromagnetische Schicht 11 verwendet wird, die zum Erzeugen eines Austausch-Kopplungsmagnetfelds an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten Schicht 12 eine Wärmebehandlung erfordert, um einen Ferri-Zustand zwischen der ersten und der zweiten fixierten Schicht 12 und 14 zu erzeugen, die magnetische Schichtdicke der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht 12 und 14 optimiert werden muß, zusätzlich zur Optimierung der eigentlichen Schichtdicke der ersten und der zweiten fixierten Schicht 12 und 14. Ansonsten läßt sich kein stabiler Magnetisierungszustand erzielen.

Wie aus der obigen Betrachtung hervorgeht, kann ein Ferri-Zustand nicht so leicht erreicht werden, wenn nicht ein gewisses Maß an Unterschied der magnetischen Schichtdicke zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht 12 und 11 vorhanden ist. Falls die Differenz der magnetischen Schichtdicke zwischen der ersten und der zweiten fixierten Schicht 12 und 14 hingegen zu groß ist, führt dies zu einer unerwünschten Verschlechterung des Austausch-Koppelmagnetfelds. Erfindungsgemäß wird also hinsichtlich der Schichtdicke der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht 12 und 14 bevorzugt, daß der Wert (magnetische Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht 12)/(magnetische Schichtdicke der zweiten fixierten Magnetschicht 14) im Bereich von 0,33 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 4 liegt. Außerdem wird erfindungsgemäß bevorzugt, daß die magnetische Schichtdicke der ersten Schicht 12 und diejenige der zweiten Schicht 14 in einem Bereich von 10 bis 70 (Angström-Tesla) liegt, und daß der Absolutwert, den man durch Subtrahieren der magnetischen Schichtdicke der zweiten fixierten Schicht 14 von der magnetischen Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht 12 erhält, gleich oder größer 2 (Angström-Tesla) ist. Noch mehr wird bevorzugt, wenn der Wert (magnetische Schichtdicke der ersten fixierten Schicht 12)/magnetische Schichtdicke der zweiten fixierten magnetischen Schicht 14 in einem Bereich von 0,53 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 1,8 liegt. Außerdem ist es in den oben angegebenen Bereichen vorzuziehen, wenn die magnetische Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht 12 und diejenige der zweiten fixierten Schicht 14 in einem Bereich von 10 bis 50 (Angström-Tesla) liegen, und daß ein Absolutwert, erhalten durch Subtrahieren der Schichtdicke der zweiten Schicht 14 von der Schichtdicke der ersten Schicht 12, gleich oder größer 2 (Angström-Tesla) ist.

Als nächstes soll die zwischen die erste und die zweite fixierte Magnetschicht 12 und 14 eingefügte nichtmagnetische Zwischenschicht 13 erläutert werden.

Erfindungsgemäß wird die zwischen die erste und die zweite fixierte Magnetschicht 12 und 14 eingefügte nichtmagnetische Zwischenschicht 13 aus einem der folgenden Elemente oder aus einer Legierung aus mindestens zwei dieser Elemente hergestellt: Ru, Rh, Ir, Cr, Re und Cu.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird der geeignete Schichtdickenwert der nichtmagnetischen Zwischenschicht 13 abhängig davon geändert, ob die ferromagnetische Schicht 11 unterhalb oder oberhalb der noch zu beschreibenden freien magnetischen Schicht 16 ausgebildet ist.

Wie in Fig. 1 zu sehen ist, beträgt der Wert der Schichtdicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht 13 für den Fall,

daß die antiferromagnetische Schicht 11 unterhalb der freien magnetischen Schicht 16 ausgebildet ist, vorzugsweise zwischen 3,6 und 9,6 Angström. Innerhalb dieses Bereichs läßt sich ein Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) von 500 (Oe) oder mehr erreichen.

Weiterhin wird bevorzugt, wenn der Wert der Schichtdicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht 13 im Bereich von 4 bis 9,4 Angström liegt, da dann ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder größer erhalten werden kann.

Untersuchungen haben gezeigt, daß das Austausch-Koppelmagnetfeld dann drastisch schwächer wird, wenn die nichtmagnetische Zwischenschicht 13 mit einer anderen stärker ausgebildet wird als den oben angegebenen Abmessungen. Das heißt: wenn die nichtmagnetische Zwischenschicht 13 mit einer anderen als der oben angegebenen Dicke ausgebildet wird, läßt sich die Magnetisierung der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht 12 und 14 nicht leicht in einen antiparallelen Zustand (Ferri-Zustand) bringen, so daß sich das Problem der Instabilität des Magnetisierungszustands stellt.

Wie in Fig. 1 gezeigt ist, ist eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht 15 aus Cu oder dergleichen auf der zweiten fixierten Magnetschicht 14 ausgebildet, und außerdem ist auf der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht 15 eine freie magnetische Schicht 16 gebildet. Wie in Fig. 1 gezeigt ist, enthält die freie magnetische Schicht 16 zwei Lagen oder Schichten, wobei eine Schicht 17 auf der Seite gebildet ist, die in Kontakt mit der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht 15 steht, eine To-Schicht aufweist. Die andere Schicht 18 besteht aus einer NiFe-Legierung, einer CoFe-Legierung, einer CoNi-Legierung, einer Co-NiFe-Legierung oder dergleichen. Der Grund dafür, daß die Co-Schicht 17 auf der Seite ausgebildet ist, die mit der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht 15 in Kontakt steht, ist der, daß die Dispersion von Metallelementen und dergleichen an der Grenzfläche zwischen der Co-Schicht 17 und der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht 15 aus Cu unterbunden werden kann und der  $\Delta MR$ -Wert (Rate der Widerstandsänderung) angehoben werden kann.

Bezugszeichen 19 bezeichnet eine aus Ta oder dergleichen gebildete Schutzschicht.

Wie in Fig. 2 zu sehen ist, sind hartmagnetische Vormagnetisierungsschichten 130 aus eine Co-Pt-Legierung, einer Co-Cr-Pt-Legierung oder dergleichen und elektrisch leitende Schichten 131 aus Co und Cr auf beiden Seiten der Schichtstruktur ausgehend von der Grundschrift 10 bis hin zu der Schutzschicht 19 ausgebildet, wobei die Magnetisierung der freien magnetischen Schicht 16 durch das Vormagnetisierungsfeld der hartmagnetischen Vormagnetisierungsschicht beeinflusst und folglich in X-Richtung magnetisiert wird.

Bei dem in Fig. 1 gezeigten Magnetowiderstandselement wird ein Lesestrom von der oberen elektrisch leitenden Schicht zu der freien magnetischen Schicht 16, der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht 15 und der zweiten fixierten magnetischen Schicht 14 geleitet. Falls ein Magnetfeld seitens des Aufzeichnungsträgers in Richtung Y in Fig. 1 vorhanden ist, ändert sich die Magnetisierung der freien magnetischen Schicht 16 von der Richtung X in die Richtung Y, und eine vom Drehimpuls abhängige Streuung von Leitungselektronen ergibt sich an der Grenzfläche der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht 15 und der freien magnetischen Schicht 16 sowie an der Grenzfläche zwischen der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht 15 und der zweiten fixierten magnetischen Schicht 14, wodurch der elektrische Widerstand sich ändert und dementsprechend das streuende Magnetfeld seitens des Aufzeichnungsträgers erfaßt werden kann.

Der Lesestrom fließt auch zu der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 und der nichtmagnetischen Zwischenschicht 13 und weiteren Schichten. Die erste fixierte magnetische Schicht 12 leistet keinen direkten Beitrag zu dem  $\Delta MR$ -Wert, so daß die Schicht 12 eine unterstützende Rolle bei der Festlegung der zweiten fixierten magnetischen Schicht 14 spielt, die einen Beitrag zu dem  $\Delta MR$ -Wert in der passenden Richtung leistet. Dementsprechend führt der Lesestrom, der zu der ersten fixierten magnetischen Schicht 12 und der nichtmagnetischen Zwischenschicht 13 fließt, zu einem Nebenschluß-Verlust (Stromverlust), allerdings ist der Betrag dieses Nebenschluß-Verlusts derart gering, daß die Erfindung dennoch einen  $\Delta MR$ -Wert wie bei entsprechenden bekannten Anordnungen erzielen kann.

Versuche haben nun gezeigt, daß die erfindungsgemäße Unterteilung in die erste und die zweite fixierte magnetische Schicht 12 und 14 mit der dazwischenliegenden nichtmagnetischen Schicht 13 die Möglichkeit der Erzeugung eines starken Austausch-Kupplungsmagnetfelds (Hex) auch dann gibt, wenn die Dicke der antiferromagnetischen Schicht 11 verringert wird, insbesondere man ein Feld von 500 (Oe) oder darüber erhalten kann.

Bei den bekannten Anordnungen muß dann, wenn in dem Magnetowiderstandselement als antiferromagnetische Schicht 11 eine Schicht aus einer PtMn-Legierung verwendet wird, eine Dicke von mindestens 200 Angström vorgesehen werden, um ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder darüber zu erhalten. Erfindungsgemäß allerdings läßt sich bei einer Dicke von mindestens 90 Angström der antiferromagnetischen Schicht 11 ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder stärker erhalten. Außerdem kann bei einer Dicke von mindestens 100 Angström ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) erhalten werden. Diese Werte für die antiferromagnetische Schicht 11 gelten für ein Einzel-Magnetowiderstandselement, die passenden Bereiche für die Schichtdicke sind etwas anders bei sogenannten Doppel-Magnetowiderstandselementen, bei denen antiferromagnetische Schichten oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht ausgebildet sind. Doppel-Magnetowiderstandselemente werden weiter unten näher erläutert.

Erfindungsgemäß läßt sich die antiferromagnetische Schicht 11, bei der es sich um die dickste Schicht in einem Magnetowiderstandselement handelt, mit im Vergleich zu bekannten Elementen halber oder noch geringerer Dicke ausbilden, wodurch die Gesamtdicke des Magnetowiderstandselements deutlich gesenkt wird.

Fig. 13 ist eine Schnittansicht des Aufbaus eines Lesekopfs, auf dem ein Magnetowiderstandselement ausgebildet ist, die Darstellung zeigt den Magnetkopf aus der Sicht der dem Aufzeichnungsträger zugewandten Seite.

Eine untere Abschirmschicht 120 besteht z. B. aus einer NiFe-Legierung, eine untere Spalt-Schicht 121 ist auf der unteren Abschirmschicht 120 ausgebildet. Ein erfindungsgemäßes Magnetowiderstandselement 122 befindet sich auf der unteren Spalt-Schicht 121, und darauf sind hartmagnetische Vormagnetisierungsschichten 123 sowie elektrisch leitende Schichten 124 jeweils auf einer Seite des Magnetowiderstandselements 122 ausgebildet. Auf den elektrisch leitenden Schichten 124 ist eine obere Spalt-Schicht 125 gebildet, und auf dieser befindet sich eine obere Abschirmschicht 126 aus einer MiFe-Legierung oder dergleichen.

Die untere Spalt-Schicht **121** und die obere Spalt-Schicht **125** bestehen aus Isolierstoff, z. B.  $\text{SiO}_2$  oder  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Aluminiumoxid). Wie in **Fig. 13** gezeigt ist, beträgt die Entfernung von der unteren Spalt-Schicht **121** zu der oberen Spalt-Schicht **125**  $G_1$ , und je kleiner dieser Wert  $G_1$  ist, desto höhere Aufzeichnungsdichten lassen sich verarbeiten.

Wie oben erläutert, ermöglicht die vorliegende Erfindung die Verringerung des Gesamtdicke des Magnetowiderstandselements **22** dadurch, daß die Dicke der antiferromagnetischen Schicht **11** verringert wird, so daß die Breite des Spalts  $G$  verringert werden kann. Sogar dann, wenn die untere Spalt- oder Lückenschicht **121** sowie die obere Spalt-schicht relativ dick sind, läßt sich die Spalt-Länge oder -Breite  $G_1$  relativ klein halten. Die Ausbildung der unteren und der oberen Spaltschicht **121** und **125** mit relativ großer Dicke gewährleistet eine ausreichende Isolierung.

Das in **Fig. 1** gezeigte Magnetowiderstandselement wird hergestellt durch Schichtbildung folgender Schichten von unten nach oben: Basisschicht **10**, antiferromagnetische Schicht **11**, erste fixierte Magnetschicht **12**, nichtmagnetische Zwischenschicht **13**, zweite fixierte Magnetschicht **14**, nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht **15**, freie magnetische Schicht **16** und Schutzschicht **19**, wobei sich an die Schichtbildung ein Glühen (Wärmebehandlung) unter Anlegen eines Magnetfelds anschließt.

Bei dem in **Fig. 1** gezeigten Magnetowiderstandselement wird die Dicke  $t_{p1}$ , der ersten fixierten Magnetschicht **12** geringer eingestellt als die Dicke  $t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht **14**, und das magnetische Moment ( $M_s \cdot t_{p1}$ ) der ersten Schicht **12** wird kleiner eingestellt als das magnetische Moment ( $M_s \cdot t_{p1}$ ) der zweiten fixierten Magnetschicht **14**.

In diesem Fall wird ein Magnetfeld von 100 bis 1000 (Oe) in die Richtung angelegt, die der gewünschten Magnetisierungsrichtung der zweiten fixierten magnetischen Schicht **14** entgegengesetzt ist, oder es wird ein Magnetfeld von 5 (kOe) oder darüber in die Richtung angelegt, in die die Magnetisierung der zweiten fixierten Magnetschicht **14** zu lenken ist.

Wie in **Fig. 1** gezeigt, sollte dann, wenn die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht **12** auf die Richtung  $Y$  festgelegt werden soll, gemäß obiger Tabelle 2 entweder ein Magnetfeld von 100 (Oe) bis 1 (kOe) (siehe Tabelle 2 (1)) in der Richtung entgegen der Richtung  $Y$  angelegt werden, oder es sollte ein Magnetfeld von 5 (kOe) oder stärker in der Richtung  $Y$  angelegt werden (vergleiche Tabelle 2 (3)).

Das Anlegen eines Magnetfelds von 100 (Oe) bis 1 k (Oe) in der Richtung entgegen der Richtung  $Y$  magnetisiert die zweite fixierte magnetische Schicht **14**, die ein größeres magnetisches Moment ( $M_s \cdot t_{p2}$ ) aufweist, in der Richtung entgegengesetzt der  $Y$ -Richtung, die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht **12**, die aufgrund des zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht **12** und **14** erzeugten Austausch-Koppelmagnetfelds (RKKY-Wechselwirkung) antiparallel magnetisiert ist, verläuft in Richtung  $Y$ , und die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht **12** wird auf die  $Y$ -Richtung festgelegt aufgrund des Austausch-Koppelmagnetfelds (anisotropes Austauschmagnetfeld), welche an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten Magnetschicht **12** und der antiferromagnetischen Schicht **11** erzeugt wird. Als Ergebnis der Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht **12** in  $Y$ -Richtung wird die Magnetisierung der zweiten fixierten Magnetschicht **14** in antiparalleler Weise bezüglich der Magnetisierung der ersten Schicht **12** festgelegt.

Alternativ: das Anlegen eines Magnetfelds von 5 (kOe) in Richtung  $Y$  magnetisiert sowohl die erste Schicht **12** als auch die zweite Schicht **14** in Richtung  $Y$ , und die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht **12** wird aufgrund des Austausch-Koppelmagnetfeld (anisotropes Austauschmagnetfeld), das an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten Magnetschicht **12** und der antiferromagnetischen Schicht **11** erzeugt wird, auf die  $Y$ -Richtung festgelegt. Die Beseitigung des Magnetfelds von 5 (kOe) oder mehr bewirkt, daß die Magnetisierung der zweiten fixierten Magnetschicht **14** umgekehrt wird durch das Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung), welches zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht **12** und **14** erzeugt wird, die Magnetisierung der zweiten Schicht **14** wird also entgegen der  $Y$ -Richtung festgelegt.

Alternativ: falls das magnetische Moment der ersten fixierten Magnetschicht **12** größer ist als dasjenige der zweiten fixierten Magnetschicht **14**, wird ein Magnetfeld von 100 (Oe) bis 1000 (Oe) oder ein Magnetfeld von 5 (kOe) oder stärker in der Richtung angelegt, in der die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht **12** verlaufen soll.

Das in **Fig. 1** dargestellte Magnetowiderstands-Dünnschichtelement ist der wichtigste Teil, den der Wiedergabekopf (Magnetowiderstands-Dünnschichtkopf) enthält. Zunächst wird eine Spaltschicht auf der unteren Abschirmschicht aus magnetischem Material gebildet, gefolgt von der Ausbildung des Magnetowiderstandselements. Anschließend wird eine obere Abschirmschicht auf dem Magnetowiderstandselement mit einer dazwischenliegenden Spaltschicht zur Vervollständigung des Wiedergabekopfs (MR-Kopf) gebildet. Darauf kann außerdem ein induktiver Wiedergabekopf ausgebildet sein, der einen Kern aus magnetischem Material sowie eine Spule enthält. In diesem Fall dient die obere Abschirmschicht vorzugsweise als untere Kernschicht des induktiven Kopfs. Die Abschirmschichten werden oberhalb und unterhalb des in **Fig. 3** und den weiteren Zeichnungsfiguren dargestellten Magnetowiderstandselements sowie des in **Fig. 1** dargestellten Elements gebildet.

**Fig. 3** ist eine seitliche Schnittdarstellung, die schematisch den Aufbau eines Magnetowiderstandselements nach einer zweiten Ausführungsform der Erfindung zeigt. **Fig. 4** ist eine Schnittdarstellung des in **Fig. 3** gezeigten Elements bei Betrachtung von der dem Aufzeichnungsträger gegenüberliegenden Seite.

Das Magnetowiderstandselement ist ein Einzel-Drehventil-Magnetowiderstandselement, welches hergestellt wurde, indem die Reihenfolge der Schichten des in **Fig. 1** gezeigten Magnetowiderstandselements umgekehrt wurde.

Das in **Fig. 3** gezeigte Magnetowiderstandselement enthält von unten nach oben also: eine Basisschicht **10**, eine NiFe-Schicht **22**, eine Co-Schicht **23** (die Schichten **22** und **23** bilden zusammen eine freie magnetische Schicht **21**), eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht **24**, eine zweite fixierte magnetische Schicht **25**, eine nichtmagnetische Zwischenschicht **26**, eine erste fixierte Magnetschicht **27**, eine antiferromagnetische Schicht **28** und eine Schutzschicht **29**.

Vorzugsweise wird die antiferromagnetische Schicht **28** aus einer PtMn-Legierung gebildet, allerdings können anstelle dieser Legierungen auch X-Mn-Legierungen (X ist mindestens eines der folgenden Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os) oder PtMn-X'-Legierungen verwendet werden (X' ist mindestens eines der folgenden Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Au, Ag).

Bei diesem Magnetowiderstandselement ist es vorzugsweise so, daß das Schichtdickenverhältnis zwischen der Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht 27 und der Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten Magnetschicht 25 derart ist, daß der Wert (Schichtdicke  $t_{p1}$ , der ersten Schicht)/(Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten Magnetschicht) in einem Bereich von 0,33 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 4 liegt, bevorzugter in einem Bereich von 0,53 bis 0,95 oder 1,05 bis 1,8.

Außerdem wird bevorzugt, daß die Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten Schicht 27 und die Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten Schicht 25 in einem Bereich von 10 bis 70 Angström liegen, und daß ein Absolutwert, erhalten durch Subtrahieren der Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten Schicht 25 von der Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten Schicht 27 gleich oder größer 2 Angström ist. Noch mehr bevorzugt ist eine Anordnung, bei der die Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten Schicht 27 und die Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten Schicht 25 in einem Bereich von 10 bis 50 Angström liegt, wobei der Absolutwert die Differenz zwischen der Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten Schicht 25 und der Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten Schicht 27 gleich oder größer 2 Angström ist.

Wie oben erläutert, wird ein Magnetisierungszustand dann nicht auf einfache Weise in einen Ferri-Zustand gebracht, wenn nicht ein gewisser Unterschied der magnetischen Schichtdicke zwischen den Schichten 27 und 25 gegeben ist. Andererseits wird dann, wenn die Differenz der magnetischen Schichtdicken zwischen erster und zweiter Schicht 27 und 25 zu groß ist, eine unerwünschte Verschlechterung des Austausch-Koppelmagnetfeld in Kauf zu nehmen sein. Erfindungsgemäß ist es im Hinblick auf das Schichtdickenverhältnis der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht 27 und 25 zu bevorzugen, wenn der Wert (magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht 27)/(magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht 25) in einem Bereich von 0,33 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 4 liegt. Außerdem wird erfindungsgemäß bevorzugt, wenn die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht 27 und die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht 25 in einem Bereich von 10 bis 70 (Angström-Tesla) liegt, wobei ein Absolutwert der Differenz aus der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 25 und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 27 gleich oder größer 2 (Angström-Tesla) ist.

Noch mehr bevorzugt ist, wenn der Wert (magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$ , der ersten Schicht 27)/(magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 25) in einem Bereich von 0,53 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 1,8 liegt. Innerhalb dieser Bereiche ist es außerdem bevorzugt, wenn die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 27 und die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 25 in einem Bereich von 10 bis 50 (Angström-Tesla) liegt, während der Absolutwert der Differenz zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 25 und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 27 gleich oder größer 2 (Angström-Tesla) ist.

Die zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht 27 und 25 gemäß Fig. 3 liegende nichtmagnetische Zwischenschicht 26 besteht vorzugsweise aus einem der folgenden Elemente oder einer Legierung aus mindestens zwei dieser Elemente: Ru, Rh, Ir, Cr, Re und Cu.

Bei dem erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselement gemäß Fig. 3 liegt der Schichtdickenwert der nichtmagnetischen Zwischenschicht 26 dann, wenn die antiferromagnetische Schicht 28 oberhalb der freien magnetischen Schicht 21 ausgebildet ist, vorzugsweise in einem Bereich von 2,5 bis 6,4 Angström oder von 6,6 bis 10,7 Angström. Innerhalb dieses Bereichs läßt sich ein Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) von 500 (Oe) oder darüber erhalten.

Außerdem ist bevorzugt, wenn die Schichtdicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht 26 im Bereich von 2,8 bis 6,2 Angström oder im Bereich von 6,8 bis 10,3 Angström liegt. In diesem Bereich läßt sich ein Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) von mindestens 1000 (Oe) oder darüber erhalten.

Außerdem kann man eine Dicke von mindestens 90 Angström für die antiferromagnetische Schicht 28 vorsehen, um ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder darüber zu erreichen. Bei einer Dicke von mindestens 100 Angström kann man ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder darüber erhalten.

Bei dem in Fig. 3 gezeigten Magnetowiderstandselement hat die Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht 27 einen anderen Wert als die Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht 25 wobei die Schichtdicke  $t_{p1}$  z. B. größer ist als die Schicht  $t_{p2}$ . Außerdem ist die erste fixierte Magnetschicht 27 in die Y-Richtung magnetisiert, während die zweite fixierte Magnetschicht 25 entgegen der Y-Richtung magnetisiert ist, so daß sich die Magnetisierung der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht 27 und 25 in einem Ferri-Zustand befindet. Das Verfahren zum Steuern der Magnetisierungsrichtung für die erste und die zweite fixierte Magnetschicht 27 und 25 gemäß Fig. 3 wird weiter unten näher erläutert.

Zunächst werden die in Fig. 3 gezeigten Schichten durch Aufstäuben oder dgl. gebildet, anschließend erfolgt ein Glühen (Wärmebehandlung) in einem Magnetfeld.

Falls der Wert  $M_s \cdot t_{p1}$  (magnetisches Moment) der ersten fixierten Magnetschicht 27 größer ist als der Wert  $M_s \cdot t_{p2}$  (das magnetische Moment) der zweiten fixierten Magnetschicht 25, sollte ein Magnetfeld von 100 (Oe) bis 1 (kOe) oder ein Feld von 5 (kOe) oder mehr in Richtung der gewünschten Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schicht 27 angelegt werden.

Wie in Fig. 3 gezeigt ist, sollte dann, wenn die erste fixierte Magnetschicht 27 mit einem größeren Wert von  $M_s \cdot t_{p1}$  in Y-Richtung zu orientieren ist, gemäß obiger Tabelle 1 ein Magnetfeld von 100 (Oe) bis 1 (kOe) (vgl. Tabelle 1 (2)) oder 5 (kOe) (vgl. Tabelle 1 (3)) in Y-Richtung angelegt werden.

Das Anlegen eines Magnetfelds von 100 (Oe) bis 1 (kOe) in Y-Richtung bewirkt, daß die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschichten 27, die den größeren Wert von  $M_s \cdot t_{p1}$  hat, in Y-Richtung orientiert wird, und die Magnetisierung der zweiten fixierten Schicht 25 versucht, einen antiparallelen Zustand einzunehmen. Die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht 27 wird dann aufgrund des Austausch-Koppelmagnetfeldes (anisotropes Austausch-Koppelmagnetfeld), welches an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten Magnetschicht 27 und der fixierten Schicht 28 erzeugt wird, in Y-Richtung festgelegt, und demzufolge wird die Magnetisierung der zweiten fixierten Schicht 25 entgegen der Y-Richtung festgelegt.

Alternativ: ein Anlegen eines Magnetfelds 5 (kOe) oder mehr in Y-Richtung magnetisiert die beiden fixierten Magnetschichten 27 und 25 in Y-Richtung aufgrund eines Magnetfelds, welches größer ist als das Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung), welches zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschichten 27 und 25 erzeugt wird, und die Magnetisierung der ersten Magnetschicht 27 wird in Y-Richtung aufgrund des Austausch-Koppelmagnet-

feldes (des anisotropen Austauschmagnetfelds) festgelegt, welches an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten Magnetschicht 27 und der fixierten Schicht 28 erzeugt wird. Das Beseitigen des angelegten Magnetfelds bewirkt, daß die Magnetisierung der zweiten fixierten Schicht 25 aufgrund des Austausch-Koppelmagnetfelds (RKKY-Wechselwirkung), welches zwischen der ersten und der zweiten fixierten Schichten 27 und 25 erzeugt wird, umgedreht wird, also auf einen Zustand festgelegt wird, der bezüglich der Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht 27 antiparallel ist. 5

Alternativ: wenn das magnetische Moment der ersten fixierten Magnetschicht 27 kleiner ist als dasjenige der zweiten Schicht 25, wird ein Magnetfeld von 100 (Oe) bis 1000 (Oe) entgegen der gewünschten Magnetisierungsrichtung der ersten fixierten Magnetschicht 27 angelegt, oder es wird ein Magnetfeld von 5 (kOe) oder mehr in der gewünschten Magnetisierungsrichtung angelegt.

Wie in Fig. 4 gezeigt ist, sind auf jeder Seite der Schichtstruktur hartmagnetische Vormagnetisierungsschichten 130 und elektrisch leitende Schichten 131 ausgebildet, die von der Basisschicht 10 ausgehen und zu der Schutzschicht 29 reichen, wobei die Magnetisierung der freien Magnetschicht 21 von dem Vormagnetisierungsfeld der hartmagnetischen Schicht 130 beeinflusst wird, die in X-Richtung magnetisiert ist, also auch die freie Schicht in X-Richtung ausgerichtet wird. 10

Fig. 5 ist eine seitliche Schnittansicht, die schematisch den Aufbau eines Magnetowiderstandselements einer dritten Ausführungsform zeigt, Fig. 6 zeigt eine Querschnittansicht des Magnetowiderstandselements nach Fig. 5 bei Betrachtung von der Seite, die dem Aufzeichnungsträger gegenüberliegt. 15

Dieses Magnetowiderstandselement ist ein sogenanntes Doppel-Drehventil-Magnetowiderstandselement, welches nichtmagnetische elektrisch leitende Schichten, fixierte Magnetschichten und antiferromagnetische Schichten jeweils oberhalb und unterhalb einer in der Mitte bildenden freien magnetischen Schicht aufweist. Bei diesem Doppel-Drehventil-Magnetowiderstandselement gibt es zwei Sätze aus jeweils drei Schichten, nämlich der freien magnetischen Schicht/der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht/der fixierten Magnetschicht, so daß man einen hohen  $\Delta MR$ -Wert im Vergleich zu dem Einzel-Drehventil-Magnetowiderstandselement erwarten kann, folglich einen Aufzeichnungsträger mit hoher Dichte lesen kann. 20

Das in Fig. 5 gezeigte Magnetowiderstandselement wird gebildet durch schichtweises Niederschlagen der folgenden Schichten in der genannten Reihenfolge von unten nach oben: eine Basisschicht 30, eine antiferromagnetische Schicht 31, eine erste fixierte (untere) Magnetschicht 32, eine nichtmagnetische (untere) Zwischenschicht 33, eine zweite fixierte (untere) Magnetschicht 34, eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht 30, eine freie magnetische Schicht 36 (Bezugsziffern 37 und 39 stehen für Co-Filme, Bezugszeichen 38 steht für einen NiFe-Legierungs-Film), eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht 40, eine zweite fixierte (obere) Magnetschicht 41, eine nichtmagnetische (obere) Zwischenschicht 42, eine erste fixierte (obere) Magnetschicht 43, eine antiferromagnetische Schicht 34 und eine Schutzschicht 45. Wie in Fig. 6 gezeigt ist, sind auf jeder Seite der Schichtstruktur, ausgehend von der Basisschicht 30 bis hin zu der Schutzschicht 40, hartmagnetische Vormagnetisierungsschichten 130 sowie elektrisch leitende Schichten 138 ausgebildet. 25 30

Vorzugsweise werden die antiferromagnetischen Schichten 31 und 44 des in Fig. 5 gezeigten Magnetowiderstandselements aus einer PtMn-Legierung gebildet, anstelle solcher Legierungen können aber auch X-Mn-Legierungen (X ist eines der folgenden Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os) oder PtMn-X'-Legierungen (X' ist mindestens eines der folgenden Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Au, Ag) verwendet werden. 35

Auch bei diesem Magnetowiderstandselement wird bevorzugt, wenn das Schichtdickenverhältnis zwischen der Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten fixierten (unteren) Magnetschicht 32 und der Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten fixierten (unteren) Magnetschicht 34, außerdem das Schichtdickenverhältnis zwischen der Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten fixierten (oberen) Magnetschicht 43 und der Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten fixierten (oberen) Magnetschicht 41 derart eingestellt ist, daß der Wert  $(t_{p1})/(t_{p2})$  in einem Bereich von 0,33 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 4 liegt. Außerdem wird dann, wenn das Schichtdickenverhältnis in dem obigen Bereich liegt und die Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschicht 32 bzw. 33 und die Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschicht 34 bzw. 41 im Bereich von 10 bis 70 Angström liegt, und ein Absolutwert der Differenz zwischen der Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten Schichten 34 und 41 und der Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten Schichten 32 und 33 gleich oder größer 2 Angström ist, ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr erhalten. 40 45

Noch mehr bevorzugt gemäß der Erfindung ist eine Anordnung, bei der der Wert  $t_{p1}/t_{p2}$  in einem Bereich von 0,53 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 1,8 ist. Falls die Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 33 und die Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 31 in einem Bereich von 10 bis 50 Angström liegen und außerdem der Absolutwert der Differenz aus der Schichtdicke  $t_{p2}$  der Schichten 34 und 31 und der Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten Schichten 32 und 43 gleich oder größer 2 Angström ist, ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder darüber erhalten. 50

Untersuchungen haben gezeigt, daß selbst dann, wenn die Dicke  $t_{p2}$  der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht 32 unterhalb der freien Magnetschicht 36 größer gemacht wird als die Dicke  $t_{p2}$  der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht 34, das Austausch-Koppelmagnetfeld sogar dann abfallende Tendenz hat, wenn der Unterschied der Schichtdicken zwischen der Dicke  $t_{p1}$  der ersten (unteren) Schicht 32 und der Dicke  $t_{p2}$  der zweiten (unteren) Schicht 34 gleich oder weniger als 6 Angström ist. 55

Dieses Phänomen läßt sich dann beobachten, wenn die antiferromagnetischen Schichten 31 und 44 aus einer PtMn-Legierung oder ähnlichem gebildet sind, die eine Wärmebehandlung erfordert, um ein Austausch-Koppelmagnetfeld (anisotropes Austauschmagnetfeld) an der Grenzfläche zwischen der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschicht 32 und 43 zu erzeugen. 60

Dieser Abfall in der Stärke des Austausch-Koppelmagnetfelds ist auf folgende Umstände zurückzuführen: eine thermische Dispersion zwischen der antiferromagnetischen Schicht 31 unterhalb der freien magnetischen Schicht 36 und der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht 32 bewirkt, daß die magnetische Schichtdicke der ersten fixierten (unteren) Magnetschicht 32 abnimmt, und zwar so weit, bis die magnetische Schichtdicke der ersten unteren fixierten Schicht 31 und die Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht 34 annähernd gleich groß sind. Erfindungsgemäß wird also vor- 65

zugsweise der Wert (Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht 32)/(Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht 34) größer ist als der Wert ((Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 43) / (Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht 41)).

Die Entstehung der thermischen Dispersionsschicht ist nicht beschränkt auf das in Fig. 5 gezeigte Doppel-Magnetowiderstandselement, sondern erfolgt auch in gleicher Weise bei dem Einzel-Magnetowiderstandselement, bei dem die antiferromagnetische Schicht 11 unterhalb der freien magnetischen Schicht 16 (vgl. Fig. 1) ausgebildet ist.

Wie oben ausgeführt, wird ohne eine gewisse Differenz zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der (unteren und oberen) der ersten fixierten Schichten 32 und 43 einerseits und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 41 andererseits kein einfacher Magnetisierungszustand entsprechend einem Ferri-Zustand erreicht. Wenn andererseits die Differenz zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 43 einerseits und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 41 andererseits, zu groß ist, eine unerwünschte Verschlechterung des Austausch-Koppelmagnetfelds in Kauf zu nehmen sein. Erfindungsgemäß wird also ebenso wie beim Schichtdickenverhältnis aus der Schichtdicke  $t_{p2}$  der Schichten 32 und 43 und der Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten Schichten 34 und 41 vorzugsweise vorgesehen, daß der Wert (magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 43)/(magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 33 und 41) in einem Bereich von 0,33 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 4 liegt. Ferner wird erfindungsgemäß bevorzugt, wenn die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 33 und die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 41 in einem Bereich von 70 (Angström-Tesla) liegen, und außerdem der Absolutwert der Differenz zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschichten 34 und 31 und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht 32 und 33 gleich oder größer 2 (Angström-Tesla) ist.

Noch mehr bevorzugt liegt der Wert (magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 43)/(magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 31) in einem Bereich von 0,53 bis 0,95 oder 1,05 bis 1,8. Innerhalb der oben angegebenen Bereiche wird bevorzugt, wenn die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 43 und die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 41 in einem Bereich von 10 bis 50 (Angström-Tesla) liegt, und außerdem der Absolutwert der Differenz zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschichten 34 und 31 und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten magnetischen Schichten 32 und 43 gleich oder größer 2 (Angström-Tesla) ist.

Die nichtmagnetischen Schichten 33 und 42, die zwischen den ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 43 und die zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 41 gemäß Fig. 5 eingefügt sind, bestehen vorzugsweise aus einem der folgenden Elemente oder aus einer Legierung aus zwei dieser Elemente: Ru, Rh, Ir, Cr, Re und Cu.

Wie in Fig. 5 gezeigt ist, liegt der Wert der Schichtdicke der nichtmagnetischen (unteren) Zwischenschicht 33 unterhalb der freien magnetischen Schicht 36 vorzugsweise in dem Bereich von 3,6 bis 9,6 Angström. Innerhalb dieses Bereichs läßt sich ein Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) von 500 (Oe) oder darüber erreichen.

Weiterhin wird bevorzugt, wenn der Wert der Schichtdicke der nichtmagnetischen (unteren) Zwischenschicht 33 im Bereich von 4 bis 9,4 Angström liegt. In diesem Bereich erreicht man ein Austausch-Koppelmagnetfeld von mindestens 1000 (Oe).

Erfindungsgemäß beträgt gemäß Fig. 5 weiterhin der Wert der Schichtdicke der nichtmagnetischen (oberen) Zwischenschicht 42 oberhalb der freien magnetischen Schicht 36 vorzugsweise zwischen 2,5 bis 6,4 Angström oder 6,8 bis 10,7 Angström. Innerhalb dieses Bereichs läßt sich ein Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) von mindestens 500 (Oe) erreichen.

Noch mehr bevorzugt wird erfindungsgemäß, wenn der Wert der Schichtdicke der nichtmagnetischen (oberen) Zwischenschicht 42 im Bereich von 2,8 bis 6,2 Angström oder 6,8 bis 10,3 Angström liegt. In diesem Bereich kann man ein Austausch-Koppelmagnetfeld von mindestens 1000 (Oe) erzielen.

Die Dicke von mindestens 100 Angström für die antiferromagnetischen Schichten 31 und 44 liefert ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr. Außerdem bringt die Dicke von mindestens 110 Angström ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder darüber.

Bei bekannten Ausgestaltungen werden die antiferromagnetischen Schichten 31 und 34 mit einer Dicke von mindestens 200 Angström ausgebildet, erfindungsgemäß hingegen können die antiferromagnetischen Schichten 31 und 34 mit nur der halben Dicke ausgebildet werden, so daß speziell bei einem Doppel-Magnetowiderstandselement, bei dem zwei antiferromagnetische Schichten 31 und 34 vorhanden sind, die gesamte Dicke des Magnetowiderstandselements um etwa 200 Angström oder mehr verringert werden kann. Bei einem solchen Magnetowiderstandselement mit verringerter Dicke läßt sich die Spaltgröße G1 auch dann verkleinern, wenn die untere Spalt-Schicht 121 und die obere Spalt-Schicht 125 gemäß Fig. 13 dick genug gemacht werden, um hinreichend Isolierung zu schaffen, damit Aufzeichnungsträger hoher Dichte gelesen werden können.

Durch geeignetes Einstellen des Schichtdickenverhältnisses der Schichtdicken der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschicht 32 und 33 und der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschicht 34 und 41, der Schichtdicke der nichtmagnetischen (unteren und oberen) Zwischenschichten 33 und 32 und der Schichtdicke der antiferromagnetischen Schichten 31 und 34 in den oben angegebenen Bereichen läßt sich ein AMR-Wert vergleichbar demjenigen von bekannten Anordnungen erzielen, man kann einen AMR-Wert von etwa 10% oder darüber erreichen.

Wie in Fig. 5 gezeigt ist, wird die Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht 32 unterhalb der freien Magnetschicht 36 dünner gemacht als die Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht 34 mit der dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht 33. Andererseits wird die Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 43 oberhalb der freien Magnetschicht 36 dicker gemacht als die Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht 41.



ren) Magnetschicht 41 mit der dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht 42. Die Magnetisierung der beiden ersten (unteren und oberen) Schichten 32 und 43 verläuft entgegen der Y-Richtung, die Magnetisierung der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschicht 34 und 41 entspricht der Y-Richtung.

Bei einem Einzel-Drehventil-Magnetowiderstandselement, wie es in Fig. 1 und 3 dargestellt ist, wird die Schichtdicke ebenso wie weitere Größen so eingestellt, daß der Wert  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht und der Wert  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht verschieden voneinander sind, und außerdem die Richtung der Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht entweder die Y-Richtung oder die der Y-Richtung entgegengesetzten Richtung sein kann.

Bei dem in Fig. 5 dargestellten Doppel-Magnetowiderstandselement allerdings besteht das Erfordernis, daß die Magnetisierung der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 43 die gleiche ist, so daß erfindungsgemäß das magnetische Moment  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 33 in geeigneter Weise bezüglich des magnetischen Moments  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 41 eingestellt wird, und außerdem die Richtung und die Stärke des bei der Wärmebehandlung angelegten Magnetfelds in passender Weise eingerichtet wird.

Der Grund dafür, daß die Magnetisierung der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 43 ein und dieselbe Richtung ist, besteht darin, die Magnetisierung der zweiten fixierten magnetischen (unteren und oberen) Schichten 34 und 41, die in einen antiparallelen Zustand bezüglich der Magnetisierung der ersten Schichten 32 und 43 gelangt, in die gleiche Richtung zu lenken. Der Grund hierfür wird im folgenden beschrieben.

Wie oben ausgeführt, wird der  $\Delta MR$ -Wert der Magnetowiderstands-Dünnschichtelemente gewonnen aus der Beziehung zwischen dem festgelegten Magnetismus der fixierten Magnetschicht und der schwankenden Magnetisierung der freien Magnetschicht. Falls allerdings die fixierte Magnetschicht in eine erste und eine zweite fixierte Magnetschicht aufgetrennt ist, wie es erfindungsgemäß der Fall ist, so ist die einen direkten Beitrag zu dem  $\Delta MR$ -Wert leistende Magnetschicht die zweite fixierte Magnetschicht, wobei die erste fixierte Magnetschicht eine unterstützende Rolle bei der Festlegung der Magnetisierung der zweiten fixierten Magnetschicht in einer konstanten Richtung spielt.

Falls beispielsweise die Magnetisierung der zweiten fixierten (unteren und oberen) Magnetschichten 34 und 41 nach Fig. 5 in zu einander entgegengesetzter Richtung festgelegt werden, wäre der Widerstand aufgrund der Beziehung zwischen der festgelegten Magnetisierung der zweiten (unteren) Magnetschicht 34 und der schwankenden Magnetisierung der freien Magnetschicht 36 auch dann sehr gering, wenn der Widerstand aufgrund der Beziehung zwischen der festgelegten Magnetisierung der zweiten (oberen) Magnetschicht 41 und der schwankenden Magnetisierung der freien Magnetschicht 36 zum Beispiel groß wäre, so daß dementsprechend der  $\Delta MR$ -Wert bei dem Doppel-Magnetowiderstandselement kleiner wäre als der  $\Delta MR$ -Wert bei dem in Fig. 1 und 2 gezeigten Einzel-Magnetowiderstandselement.

Das Problem ist nicht beschränkt auf Doppel-Magnetowiderstandselemente, bei denen die Magnetschicht in zwei Schichten mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Schicht aufgetrennt ist, wie es bei der Erfindung der Fall ist, es ergibt sich das gleiche Problem bei bekannten Doppel-Magnetowiderstandselementen, so daß Bedarf besteht, die fixierten Magnetschichten oberhalb und unterhalb der freien Magnetschicht in dieselbe Richtung festzulegen, um die Eigenschaften des Doppel-Magnetowiderstandselements zu fördern, welches in der Lage ist, stärkere  $\Delta MR$ -Werte als ein Einzel-Magnetowiderstandselement für größere Ausgangssignale zu liefern.

Bei der vorliegenden Erfindung wird nun gemäß Fig. 5 die fixierte magnetische Schicht unterhalb der freien magnetischen Schicht 36 derart ausgebildet, daß der Wert  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht 36 größer ist als der Wert  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht 32 und außerdem die Magnetisierung der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht 34 mit dem größeren Wert von  $M_s \cdot t_{p2}$  in Richtung Y festgelegt ist. In diesem Fall wird das sogenannte zusammengesetzte magnetische Moment, erhalten durch Addieren von  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 34 auf den Wert  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 32, von dem magnetischen Moment der zweiten fixierten Schicht 34 mit dem größeren Wert von  $M_s \cdot t_{p2}$  beherrscht, wobei dieses Moment in Y-Richtung orientiert ist.

Andererseits ist die fixierte Magnetschicht oberhalb der freien magnetischen Schicht 36 derart ausgebildet, daß der Wert  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 43 größer ist als der Wert  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht 41, und die Magnetisierung der ersten (oberen) Schicht 43 mit dem größeren Wert von  $M_s \cdot t_{p1}$  in die Richtung entgegen der Richtung Y festgelegt ist. Auch hier wird das sogenannte zusammengesetzte magnetische Moment, erhalten durch Addieren von  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (oberen) Schicht 43 und  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (oberen) Schicht 41 beherrscht von dem Wert  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 43, wobei das zusammengesetzte Moment entgegen der Y-Richtung orientiert ist.

Dies bedeutet: Bei dem in Fig. 5 gezeigten Doppel-Magnetowiderstandselement sind die Richtungen der zusammengesetzten magnetischen Momente, die man durch Addieren der Werte  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht und  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht erhält, oberhalb und unterhalb der freien Magnetschicht 36 entgegengesetzt. Das zusammengesetzte magnetische Moment in Y-Richtung unterhalb der freien magnetischen Schicht 36 und das zusammengesetzte magnetische Moment entgegen der Y-Richtung oberhalb der freien magnetischen Schicht 36 bilden zusammen ein Magnetfeld, welches in der Figur im Gegenuhrzeigersinn (nach links) dreht.

Man kann also die Magnetisierung der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 43 und die Magnetisierung der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 41 in einen noch stabileren Ferri-Zustand halten, bedingt durch das Magnetfeld, welches durch die oben angesprochenen zusammengesetzten magnetischen Momente gebildet wird.

Der Lesestrom 114 fließt bezüglich der durch die nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schichten 35 und 39 gebildeten Strömungsmittelpunkt, indem man den Lesestrom 114 veranlaßt, ein Lesestrom-Magnetfeld entsprechend der Korrenzierregel zu bilden, wobei der Lesestrom 114 in die in Fig. 5 gezeigte Richtung fließt, erhält man eine Richtung des Lesestrom-Magnetfelds aufgrund des Lesestroms in dem Bereich, der gebildet wird durch die erste (untere) fixierte Magnetschicht 32/die (untere) nichtmagnetische Zwischenschicht 33/die zweite (untere) fixierte Magnetschicht 34 unterhalb der freien Magnetschicht 36, angepaßt an die Richtung des zusammengesetzten magnetischen Moments der ersten fixierten (unteren) Magnetschicht 32/der nichtmagnetischen (unteren) Zwischenschicht 33/der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht 34, wobei weiterhin durch den Lesestrom bewirkt wird, daß die Richtung des durch den Lesestrom er-



zeugten Lesestrom-Magnetfelds im Bereich der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 43/der (oberen) nichtmagnetischen Zwischenschicht 42/der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht 41 oberhalb der freien magnetischen Schicht 36 übereinstimmt mit der Richtung des zusammengesetzten magnetischen Moments aufgrund der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 43/der (oberen) nichtmagnetischen Zwischenschicht 42/ der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht 41.

Obschon die Vorteile der Anpassung der Richtung des Lesestrom-Magnetfelds an die Richtung des zusammengesetzten magnetischen Moments weiter unten im einzelnen erläutert werden sollen, soll hier kurz festgehalten werden, daß die Vorteile sehr groß sind, weil die thermische Stabilität der fixierten magnetischen Schichten gesteigert, außerdem ein starker Lesestrom verwendet werden kann, demzufolge man das Wiedergabe-Ausgangssignal verbessert. Der Grund hierfür liegt darin, daß die genannten Beziehungen zwischen der Richtung des Lesestrom-Magnetfelds und derjenigen des zusammengesetzten magnetischen Moments auf den Umstand zurückzuführen sind, daß die zusammengesetzten magnetischen Momente der fixierten Magnetschichten oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht 36 das Magnetfeld bilden, welches sich in der Figur nach links bzw. im Gegenuhzeigersinn dreht.

Umgebungstemperaturen in modernen Geräten erreichen Werte von etwa 200°C, und es besteht die Tendenz zu noch höheren Umgebungstemperaturen, bedingt durch die erhöhte Drehzahl des Aufzeichnungsträgers, höhere Leseströme und dergleichen. Solche Zunahmen der Umgebungstemperaturen rufen einen Abfall des Austausch-Koppelmagnetfelds hervor, wobei allerdings erfindungsgemäß das durch das zusammengesetzte magnetische Moment und das Lesestrom-Magnetfeld gebildete Magnetfeld die Möglichkeit schaffen, die Magnetisierung der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 33 und die Magnetisierung der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 41 in einen thermisch stabilen Ferri-Zustand zu halten.

Die oben beschriebene Bildung des Magnetfelds mit Hilfe des zusammengesetzten magnetischen Moments und die Richtungsbeziehung zwischen dem Magnetfeld aufgrund des zusammengesetzten magnetischen Moments und des Lesestrom-Magnetfelds sind Merkmale, die erfindungsgemäß einzigartig sind und sich bei bekannten Doppel-Magnetowiderstandselementen, bei denen fixierte Magnetschichten oberhalb und unterhalb einer freien Magnetschicht als Einzelschichten angeordnet und in gleiche Richtung magnetisiert sind, nicht erreichen lassen.

Als nächstes sollen Richtung und Betrag des während der Wärmebehandlung angelegten Magnetfelds erläutert werden. Bei dem in Fig. 5 gezeigten Magnetowiderstandselement wird für die antiferromagnetischen Schichten 31 und 34, die ein Austausch-Koppelmagnetfeld (ein anisotropes Austauschmagnetfeld) an der Grenzfläche zwischen den ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 33 und den antiferromagnetischen Schichten 31 und 34 erzeugen sollen, ein antiferromagnetisches Material wie z. B. PtMn-Legierung verwendet, welches eine Wärmebehandlung erforderlich macht. Für den Fall, daß Richtung und Betrag des während der Wärmebehandlung angelegten Magnetfelds nicht richtig gesteuert werden, läßt sich die in Fig. 5 dargestellte Magnetisierungsrichtung der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 33 und der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 41 nicht erreichen.

Zunächst wird im Zuge der Ausbildung der Schichten gemäß Fig. 5 der Wert für  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren) Magnetschicht 32 unterhalb der freien magnetischen Schicht 36 kleiner gemacht als der Wert von  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren) Schicht 34, und außerdem wird  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (oberen) Schicht 43 oberhalb der freien magnetischen Schicht 34 größer gemacht als  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (oberen) Schicht 41.

Wie in Fig. 5 gezeigt, wird dann, wenn die ersten (unteren und oberen) Schichten 32 und 33 entgegen der Y-Richtung orientiert sein sollen, gemäß den obigen Tabellen 1 und 2 gefordert, ein Magnetfeld von 5 (kOe) oder mehr (vgl. Tabelle 1 (4) und Tabelle 2 (4)) in der Richtung entgegen der Y-Richtung anzulegen.

Das Anlegen eines Magnetfelds von 5 (kOe) oder mehr in der der Y-Richtung entgegengesetzten Richtung bewirkt, daß die Magnetisierung der ersten (unteren und oberen) Schichten 32 und 33 und die Magnetisierung der zweiten (unteren und oberen) fixierten magnetischen Schichten 34 und 31 vorübergehend sämtlich entgegen der Richtung Y ausgerichtet werden. Die ersten (unteren und oberen) Schichten 32 und 33 werden entgegen der Y-Richtung aufgrund des Austausch-Koppelmagnetfelds (anisotropes Austauschmagnetfeld) festgelegt, welches an der Grenzfläche zwischen den ersten (unteren und oberen) Schichten 32 und 33 und den antiferromagnetischen Schichten 31 und 44 erzeugt wird, wobei ein Beseitigen des Magnetfelds von 5 (kOe) oder mehr zur Folge hat, daß die Magnetisierung der zweiten fixierten magnetischen Schichten (unten und oben) 34 und 41 in die Y-Richtung umgekehrt werden aufgrund des Austausch-Koppelmagnetfelds (RKKY-Wechselwirkung) mit den ersten fixierten (unteren und oberen) Magnetschichten 32 und 33, um in Y-Richtung festgelegt zu werden.

Alternativ: Man kann ein Magnetfeld von 5 (kOe) oder mehr in Y-Richtung anlegen. In diesem Fall erfolgt eine Magnetisierung der ersten (unteren und oberen) Schichten 32 und 33 und eine Magnetisierung der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 31 entgegen den in Fig. 5 gezeigten Magnetisierungsrichtungen, so daß ein Magnetfeld aus dem nach rechts oder im Uhrzeigersinn drehenden zusammengesetzten magnetischen Moment gebildet wird.

Außerdem kann erfindungsgemäß der Wert  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht 32 unterhalb der freien magnetischen Schicht 36 größer gemacht werden als der Wert  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Magnetschicht 34, und außerdem kann der Wert von  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht 43 oberhalb der freien magnetischen Schicht 36 kleiner gemacht werden als der Wert  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht 41. Auch in diesem Fall führt das Anlegen eines Magnetfelds von 5 (kOe) oder mehr in der Richtung, in der die Magnetisierung der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 43 erwünscht ist, d. h. in der Y-Richtung oder in der dazu entgegengesetzten Richtung, zu einem Ausrichten und Festlegen der zweiten fixierten (unteren und oberen) magnetischen Schichten 34 und 41 oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht 36 in die gleiche Richtung, und außerdem zu einer Ausbildung eines Magnetfelds aus dem rechtsdrehenden oder linksdrehenden zusammengesetzten magnetischen Moment.

Es sei angemerkt, daß das Ausrichten der Magnetisierung der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 41, die oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht 36 ausgebildet sind, in ein und dieselbe Richtung, und außerdem die Ausbildung eines Magnetfelds mittels des zusammengesetzten magnetischen Moments und die Ausbildung der Richtungsbeziehung zwischen dem Magnetfeld aufgrund des zusammengesetzten magnetischen Moments

und dem Lesestrom-Magnetfeld, sich durch kein anderes als das oben beschriebene Verfahren realisieren läßt.

Es könnten andere Verfahren als das oben beschriebene Verfahren dazu eingesetzt werden, die Magnetisierung der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 31 in dieselbe Richtung zu lenken, allerdings würde das zusammengesetzte magnetische Moment oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht 36 in dieselbe Richtung weisen, demzufolge kein Magnetfeld mit Hilfe des zusammengesetzten magnetischen Moments gebildet werden könnte. Allerdings ist das Doppel-Magnetowiderstandselement gemäß der Erfindung in der Lage, einen  $\Delta MR$ -Wert etwa in der Größenordnung vom Wert bekannter Anordnungen von Doppel-Magnetowiderstandselementen zu erreichen, indem die nachstehend erläuterte Wärmebehandlung durchgeführt wird, wobei außerdem der Magnetisierungszustand der fixierten Magnetschichten (erste und zweite fixierte Magnetschicht) in einem thermisch stabilen Zustand gehalten werden kann.

Erstens: Falls der Wert von  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren) Schicht 32 unterhalb der freien magnetischen Schicht 36 und der Wert  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 43 oberhalb der freien magnetischen Schicht 36 beide größer sind als der Wert  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) Schichten 34 und 31, lenkt das Anlegen eines Magnetfelds von 100 (Oe) bis 1 (kOe) oder von 5 (kOe) oder darüber in Richtung der gewünschten Magnetisierung der ersten (unteren und oberen) Magnetschichten 32 und 33 sowohl die erste untere als auch die erste obere fixierte Magnetschicht 32 und 33 in dieselbe Richtung, und lenkt die Magnetisierung der zweiten unteren und auch der zweiten oberen fixierten Magnetschicht 34 und 31 in eine Richtung antiparallel bezüglich der Magnetisierung der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 43 und legt sie auf die gleiche Richtung fest, bedingt durch das Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung) mit den ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 43.

Alternativ: Falls der Wert  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren) Schicht 32 unterhalb der freien Magnetschicht 36 und der Wert  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 43 oberhalb der Schicht 36 beide kleiner gemacht werden als der Wert  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 41, lenkt das Anlegen eines Magnetfelds von 100 (Oe) bis 1 (kOe) oder von 5 (kOe) oder mehr in der Richtung entgegen der gewünschten Magnetisierungsrichtung der ersten (unteren und oberen) Schichten 32 und 43 die Magnetisierung sowohl der ersten unteren als auch der ersten oberen Schicht 32 und 43 in dieselbe Richtung, außerdem die Magnetisierung der beiden zweiten (unteren und oberen) Schichten 34 und 41, die bezüglich der Magnetisierung der ersten Schichten 32 und 43 antiparallel magnetisiert werden sollen, in die gleiche Richtung gelenkt und festgelegt, bedingt durch das Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung) mit dem ersten fixierten (unteren und oberen) Magnetschichten 32 und 43.

Bei dem in Fig. 1 bis 6 dargestellten Magnetowiderstandselement ist eine fixierte magnetische Schicht aufgetrennt in zwei Schichten, nämlich eine erste und eine zweite fixierte Magnetschicht, wobei sich dazwischen eine nichtmagnetische Schicht befindet. Die Magnetisierung der beiden Schichten wird in einen antiparallelen Zustand (Ferri-Zustand) gebracht mit Hilfe des Austausch-Kopplungsmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung), das zwischen den beiden fixierten Magnetschichten erzeugt wird, um dadurch den Magnetisierungszustand der fixierten Magnetschichten in einem Zustand zu halten, der thermisch stabiler ist als bei bekannten Anordnungen.

Insbesondere verwendet die vorliegende Erfindung als antiferromagnetische Schicht ein PtMn-Legierung, die eine hohe Sperrtemperatur aufweist und ein starkes Austausch-Koppelmagnetfeld (anisotropes Austauschmagnetfeld) an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten Magnetschicht und der antiferromagnetischen Schicht erzeugt, demzufolge der Magnetisierungszustand der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht in thermisch noch stabilerer Weise aufrechterhalten werden kann.

Erfindungsgemäß wird außerdem das Schichtdickenverhältnis zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht, die Schichtdicke der dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht und die Schichtdicke der antiferromagnetischen Schicht jeweils in einem geeigneten Bereich eingestellt. Hierdurch erhält man ein noch stärkeres Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex), und dementsprechend läßt sich die thermische Stabilität der fixierten oder festgelegten Magnetisierung der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht noch weiter steigern.

Die Ausbildung des Schichtdickenverhältnisses zwischen der Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten und der Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht, und die Einstellung der Schichtdicken der ersten fixierten und der zweiten fixierten Magnetschicht, der nichtmagnetischen Zwischenschicht und der antiferromagnetischen Schicht in jeweils einem geeigneten Bereich ermöglicht die Erreichung von  $\Delta MR$ -Werten, die denen von bekannten Anordnungen vergleichbar sind.

Falls im Rahmen der Erfindung als antiferromagnetische Schicht eine Schicht aus einem Material wie einer PtMn-Legierung oder dergleichen verwendet wird, welches eine Wärmebehandlung zum Erzeugen des Austausch-Koppelmagnetfelds (des anisotropen Austauschmagnetfelds) an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten Magnetschicht und der antiferromagnetischen Schicht erforderlich macht, erhält man dadurch, daß der Wert  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht und der Wert  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht voneinander verschieden sind, und Betrag und Richtung des während der Wärmebehandlung angelegten Magnetfelds entsprechend eingestellt werden, die Erzielung einer Magnetisierung für die erste fixierte Magnetschicht (und die zweite fixierte Magnetschicht), die in der gewünschten Richtung verläuft.

Besonders bei dem in Fig. 5 gezeigten Doppel-Magnetowiderstandselement erfolgt eine angemessene Einstellung des Wertes von  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 33 und des Werts  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 31, ferner eine angemessene Einstellung von Stärke und Richtung des Magnetfelds während der Wärmebehandlung, wodurch es möglich wird, die Magnetisierung der beiden zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 41 oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht 36 in die gleiche Richtung festzulegen und außerdem die zusammengesetzten magnetischen Momente oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht 36 in einander entgegengesetzte Richtungen verlaufen zu lassen, um dadurch ein Magnetfeld mit dem zusammengesetzten magnetischen Moment zu erzeugen und eine Richtungsbeziehung mit dem Magnetfeld aufgrund des zusammengesetzten magnetischen Moments und dem Lesestrom-Magnetfeld zu erhalten, demzufolge die thermische Stabilität der Magnetisierung der fixierten Magnetschichten zusätzlich verbessert wird.

Fig. 7 ist eine seitliche Schnittansicht, die schematisch den Aufbau eines Magnetowiderstandselements einer vierten

Ausführungsform der Erfindung zeigt. Fig. 8 ist eine Querschnittsansicht dieses in Fig. 7 gezeigten Magnetowiderstandselements bei Betrachtung von der Seite, die dem Aufzeichnungsträger zugewandt ist.

Wie bei dem in den Fig. 1 bis 6 dargestellten Magnetowiderstandselement ist auch dieses Magnetowiderstandselement an der nachlaufenden Kante oder einer ähnlichen Stelle eines schwimmenden Gleitstücks angeordnet, welches in einem Festplattenlaufwerk vorgesehen ist, um Magnetfelder von aufgezeichneten Daten auf der Festplatte zu erfassen. Die Bewegungsrichtung des magnetischen Aufzeichnungsträgers, z. B. einer Festplatte, entspricht der Z-Richtung in der Figur, und die Richtung des aus dem magnetischen Aufzeichnungsträgers streuenden Magnetfelds entspricht der Y-Richtung.

Bei diesem Magnetowiderstandselement ist nicht nur die fixierte Magnetschicht in zwei Schichten aufgetrennt, sondern auch die freie magnetische Schicht ist in zwei Schichten aufgeteilt, nämlich eine erste freie Magnetschicht und eine zweite freie Magnetschicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht.

Wie in den Fig. 7 und 8 dargestellt ist, enthält das Magnetowiderstandselement von unten nach oben: Eine Basis-schicht 50, eine antiferromagnetische Schicht 51, eine erste fixierte Magnetschicht 52, eine nichtmagnetische Zwischen-schicht 53, eine zweite fixierte Magnetschicht 54, eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht 55, eine erste freie Magnetschicht 56, eine nichtmagnetische Zwischenschicht 59, eine zweite freie Magnetschicht 60 und eine Schutz-schicht 61, und zwar in der genannten Reihenfolge.

Die Basisschicht 50 und die Schutzschicht 61 besteht z. B. aus Ta, außerdem besteht die antiferromagnetische Schicht 51 z. B. aus einer PtMn-Legierung. Diese Legierungen besitzen bessere Korrosionsbeständigkeit als NiMn-Legierung oder FeMn-Legierungen, wie sie üblicherweise für antiferromagnetische Schichten verwendet werden, die Sperrtemperatur ist hoch, und außerdem läßt sich ein starkes Austausch-Koppelmagnetfeld erzielen. Außerdem können anstelle der PtMn-Legierungen erfindungsgemäß X-Mn-Legierungen (X ist mindestens eines der Elemente Pd, Ir, Rh, Ru, Os) oder PtMn-X'-Legierungen (X' ist mindestens eines der Elemente Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Au, Ag) verwendet werden.

Die erste fixierte Magnetschicht 52 und die zweite fixierte Magnetschicht 54 bestehen aus einem Co-Film, einer NiFe-Legierung, einer CoFe-Legierung, einer Co-Ni-Legierung, einer Co-NiFe-Legierung oder dergleichen. Die nichtmagnetische Zwischenschicht 53 besteht vorzugsweise aus einem der folgenden Elemente oder aus einer Legierung aus zwei dieser Elemente: Ru, Rh, Ir, Tr, Re und Tu. Außerdem besteht die nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht 55 aus Cu oder dergleichen.

Die Magnetisierung der ersten und die Magnetisierung der zweiten fixierten Magnetschicht 52 und 54 entspricht einem Ferri-Zustand, bei dem die beiden Magnetisierungen antiparallel sind, wobei die Magnetisierung der Schicht 52 in Y-Richtung und die Magnetisierung der Schicht 54 entgegen der Y-Richtung festgelegt ist. Es ist ein starkes Austausch-Koppelmagnetfeld erforderlich, um die Stabilität dieses Ferri-Zustands aufrechtzuerhalten, wobei erfindungsgemäß die folgenden verschiedenen Arten der Optimierung stattfinden, um ein stärkeres Austausch-Koppelmagnetfeld zu erzielen.

Bei dem Magnetowiderstandselement nach den Fig. 7 und 8 liegt der Wert (Dicke  $t_{p1}$  der ersten Schicht 52)/(Dicke  $t_{p2}$  der zweiten Schicht 54) vorzugsweise in einem Bereich von 0,33 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 4, besonders bevorzugt in einem Bereich von 0,53 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,08 bis 1,8.

Bevorzugt liegt die Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht 52 und die Schichtdicke der zweiten fixierten Magnetschicht 54 in einem Bereich von 10 bis 70 Angström, und außerdem gilt  $| \text{Schichtdicke } t_{p1} \text{ der ersten Schicht 52} - \text{Schichtdicke } t_{p2} \text{ der zweiten Schicht 54} | \geq 2 \text{ Angström}$ . Noch mehr bevorzugt liegen die Schichtdicken im Bereich von 10 bis 50 Angström, wobei gilt:  $| \text{Schichtdicke } t_{p1} \text{ der ersten Schicht 52} - \text{Schichtdicke } t_{p2} \text{ der zweiten Schicht 54} | \geq 2 \text{ Angström}$ .

Wie oben ausgeführt, läßt sich der Magnetisierungszustand nicht ohne Schwierigkeiten in einem Ferri-Zustand halten, wenn es nicht eine gewisse Differenz gibt zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 52 und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 54. Falls hingegen die Differenz zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 52 und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 54 zu groß ist, führt dies zu einer unerwünschten Verschlechterung des Austausch-Koppelmagnetfelds. Demzufolge wird bezüglich des Schichtdickenverhältnisses zwischen der Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten Schicht 52 und der Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht 54 bevorzugt, wenn der Wert (magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 52)/(magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 54) in einem Bereich von 0,33 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 4 liegt. Außerdem wird erfindungsgemäß bevorzugt, wenn die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht 52 und die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 54 in einem Bereich von 10 bis 70 (Angström-Tesla) liegen, und wenn der Absolutwert der Differenz zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 54 und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 52 gleich oder größer 2 (Angström-Tesla) ist.

Noch mehr bevorzugt liegt der Wert von (magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 52)/(magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 54) in einem Bereich von 0,53 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 1,8. In den oben angegebenen Bereichen ist es wiederum bevorzugt, wenn die magnetische Schicht  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht 52 und die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht 54 in einem Bereich von 10 bis 50 (Angström-Tesla) liegen, wobei der Absolutwert der Differenz zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  und der zweiten Schicht 54 und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 52 gleich oder größer 2 (Angström-Tesla) ist.

Außerdem wird bevorzugt, wenn die Schichtdicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht 53 zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht 52 und 54 im Bereich von 3,6 bis 9,6 Angström liegt. Innerhalb dieses Bereichs läßt sich ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr erreichen. Außerdem wird hierfür ein Bereich von 4 bis 9,4 Angström bevorzugt, weil dann ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder stärker erreicht werden kann.

Außerdem ist eine Schichtdicke von mindestens 90 Angström für die antiferromagnetische Schicht 51 bevorzugt, da hierdurch ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder darüber erhalten werden kann. Noch mehr bevorzugt ist eine Dicke von mindestens 100 Angström, wodurch man ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder mehr erreichen kann.

Die erste freie magnetische Schicht 56 ist gemäß Fig. 7 und 8 auf der nicht magnetischen, elektrisch leitenden Schicht 55 ausgebildet. Wie aus Fig. 7 und 8 hervorgeht, ist die erste freie magnetische Schicht 56 in Form von zwei Schichten oder Lagen ausgebildet, und zwar durch eine Co-Lage 57, auf der mit der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht in Berührung gelangenden Seite, weil eine Co-Lage 57 auf der Seite der Schicht 55 ermöglicht, daß man einerseits einen höheren AMR-Wert erhält und andererseits erreicht, daß die Dispersion bezüglich der elektrisch leitenden Schicht 55 unterbunden werden kann.

Auf der Co-Lage 57 ist ein NiFe-Legierungs-Film 58 gebildet. Auf diesem Film 58 befindet sich eine nichtmagnetische Zwischenschicht 59. Auf der Zwischenschicht 59 befindet sich die zweite freie magnetische Schicht 60, auf der wiederum die Schutzschicht 61 aus Ta oder dergleichen gebildet ist.

Die zweite freie Magnetschicht 60 besteht aus einem Co-Film, einer NiFe-Legierung, einer Co-Fe-Legierung, einer Co-NiFe-Legierung oder dergleichen.

Ausgehend von der Basisschicht 50 bis hin zu der Schutzschicht 51 ist die Drehventilanordnung mit abgeschrägten Seiten ausgebildet, so daß sie die Form eines Trapez aufweist. Auf jeder Seite der Drehventilschicht sind hartmagnetische Vormagnetisierungsschichten 62 und elektrisch leitende Schichten 63 ausgebildet. Die Schichten 62 bestehen aus einer Co-Pt-Legierung, einer Co-Cr-Pt-Legierung oder dergleichen, die elektrisch leitenden Schichten 63 sind aus Cu, Cr oder einem ähnlichen Werkstoff gebildet.

Die nichtmagnetische Zwischenschicht 59, die sich zwischen der ersten freien Magnetschicht 56 und der zweiten freien Magnetschicht 60 gemäß Fig. 7 und 8 befindet, bewirkt, daß die Magnetisierung der ersten freien Magnetschicht 56 und die Magnetisierung der zweiten freien Magnetschicht 60 zueinander antiparallel sind (Ferri-Zustand), bedingt durch ein Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung) zwischen der ersten und der zweiten freien Magnetschicht 56 und 60.

Bei dem in Fig. 8 gezeigten Magnetowiderstandselement ist beispielsweise die Schichtdicke  $t_{F1}$  der ersten freien magnetischen Schicht 56 kleiner gehalten als die Schichtdicke  $t_{F2}$  der zweiten freien Magnetschicht 60, außerdem ist der Wert von  $M_s \cdot t_{F1}$  der ersten freien Magnetschicht 56 kleiner gemacht als der Wert  $M_s \cdot t_{F2}$  der zweiten freien Magnetschicht 60. Wenn ein Vormagnetisierungsfeld seitens der hartmagnetischen Vormagnetisierungsschichten 62 in Richtung X angelegt wird, wird die Magnetisierung der zweiten freien Magnetschicht 60 mit dem größeren Wert von  $M_s \cdot t_{F2}$  von dem Vormagnetisierungsfeld so beeinflußt, daß es in Richtung X ausgerichtet wird, und die Magnetisierung der ersten freien Magnetschicht 56 mit dem kleineren Wert  $M_s \cdot t_{F1}$  weist in eine Richtung entgegen der Richtung X, bedingt durch das Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung), welches zwischen der ersten und der freien Magnetschicht 56 und 60 erzeugt wird.

Falls ein äußeres Magnetfeld aus der Richtung Y eindringt, behält die Magnetisierung der ersten freien Magnetschicht 56 und der zweiten freien Magnetschicht 60 den Ferri-Zustand bei und dreht sich gleichzeitig aufgrund der Beeinflussung durch das äußere magnetische Feld. Dementsprechend ändert sich der elektrische Widerstand aufgrund der Beziehung zwischen dem schwankenden Magnetismus der ersten freien Magnetschicht 56, was einen Beitrag zu dem AMR-Wert leistet, und dem festgelegten Magnetismus der zweiten fixierten Magnetschicht 54 (magnetisiert entgegen der Y-Richtung), um dadurch die Signale des äußeren Magnetfelds erfassen zu können.

Bei der vorliegenden Erfindung wird das Schichtdickenverhältnis zwischen der Schichtdicke  $t_{F1}$  der ersten freien Magnetschicht 56 und der Schichtdicke  $t_{F2}$  der zweiten freien Magnetschicht 60 optimiert, so daß man ein noch stärkeres Austausch-Koppelmagnetfeld erhalten kann, während man gleichzeitig einen AMR-Wert etwa wie bei bekannten Anordnungen erzielen kann.

Erfindungsgemäß liegt der Wert (Schichtdicke  $t_{F1}$  der ersten Schicht 56)/(Schichtdicke  $t_{F2}$  der zweiten Schicht 60) vorzugsweise in einem Bereich von 0,56 bis 0,83 oder 1,25 bis 5. Innerhalb dieses Bereichs läßt sich ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder darüber erhalten. Erfindungsgemäß liegt der Wert (Schichtdicke  $t_{F1}$  der ersten Schicht 56)/(Schichtdicke  $t_{F2}$  der zweiten Schicht 60) noch mehr bevorzugt in einem Bereich von 0,61 bis 0,63 oder 1,25 bis 2,1. Innerhalb dieses Bereichs kann man ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 100 (Oe) oder darüber erhalten.

Der Grund dafür, daß der Bereich von 0,83 bis 1,25 für den Wert  $t_{F1}/t_{F2}$  der Schichten 56 bzw. 60 ausgeschlossen wird, besteht darin, daß dann, wenn die Schichtdicke  $t_{F1}$  der ersten Schicht 56 und die magnetische Schichtdicke  $t_{F2}$  der zweiten freien Magnetschicht 60 etwa denselben Wert haben und außerdem der Wert  $M_s \cdot t_{F1}$  der ersten Schicht 56 und der Wert  $M_s \cdot t_{F2}$  der zweiten Schicht 60 etwa den gleichen Wert haben, die Magnetisierung sowohl der ersten als auch der zweiten freien Magnetschicht 56 und 60 beeinflußt wird durch das Vormagnetisierungsfeld seitens der harten magnetischen Vormagnetisierungsschicht 62, und versucht, sich in die Richtung dieses Vormagnetisierungsfeldes zu drehen. Demzufolge erreicht die Magnetisierung der ersten und der zweiten freien Magnetschicht 56 und 60 nicht den antiparallelen Zustand, so daß man keinen stabilen Magnetisierungszustand erreichen kann.

Wenn es nicht eine gewisse Differenz zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F1}$  der ersten Schicht 56 und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F2}$  der zweiten Magnetschicht 60 gibt, läßt sich auch der Magnetisierungszustand nicht so leicht in einen Ferri-Zustand bringen und halten. Wenn hingegen die Differenz zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F1}$  der ersten Schicht 56 und die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F2}$  der zweiten freien Magnetschicht 60 zu groß ist, führt dies zu einer unerwünschten Verschlechterung des Austausch-Koppelmagnetfelds. Erfindungsgemäß wird also hinsichtlich des Schichtdickenverhältnisses zwischen der Schichtdicke  $t_{F1}$  der ersten Schicht 56 und der Schichtdicke  $t_{F2}$  der zweiten freien Magnetschicht 60 bevorzugt, daß der Wert (magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F1}$  der ersten freien Magnetschicht 56)/(magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F2}$  der zweiten freien Magnetschicht 60) in einem Bereich von 0,56 bis 0,83 oder in einem Bereich von 1,25 bis 5 liegt. Noch mehr wird bevorzugt, wenn jener Wert  $(M_s \cdot t_{F1})/(M_s \cdot t_{F2})$  in einem Bereich von 0,61 bis 0,63 oder in einem Bereich von 1,25 bis 2,1 liegt.

Erfindungsgemäß wird die nichtmagnetische Zwischenschicht 59 zwischen der ersten und der zweiten freien Magnetschicht 56 und 60 vorzugsweise aus einem der folgenden Elemente oder einer Legierung aus mindestens zwei dieser Elemente gebildet: Ru, Rh, Ir, Cr, Re und Cu. Außerdem wird bevorzugt, wenn die Schichtdicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht 59 im Bereich von 5,5 bis 10,0 Angström liegt. Innerhalb dieses Bereichs läßt sich ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder darüber erzielen. Noch mehr bevorzugt liegt die Schichtdicke der nichtmagnetischen

Zwischenschicht 59 in dem Bereich von 5,9 bis 9,4 Angström, da dann nämlich ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder darüber erzielt werden kann.

Die Einstellung des Schichtdickenverhältnisses zwischen der ersten fixierten Magnetschicht 52 und der zweiten fixierten Magnetschicht 54, der Schichtdicke sowohl der nichtmagnetischen Zwischenschicht 53 als auch der antiferromagnetischen Schicht 51, des Schichtdickenverhältnisses der ersten freien Magnetschicht 56 und der zweiten freien Magnetschicht 60, und der Schichtdicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht 59 innerhalb der oben angegebenen Wertebereiche macht es möglich, einen AMR-Wert (Rate der Widerstandsänderung) zu erreichen, wie er auch bei bekannten Anordnungen erreicht werden kann.

Als nächstes wird ein Verfahren der Wärmebehandlung beschrieben. Bei dem in Fig. 7 und 8 dargestellten Magnetowiderstandselement wird als antiferromagnetisches Material, welches ein Austausch-Koppelmagnetfeld (ein anisotropes Austausch-Magnetfeld) an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten Magnetschicht 52 und der antiferromagnetischen Schicht 51 erzeugt, zum Beispiel eine PtMn-Legierung verwendet, die einer Wärmebehandlung unterzogen wird. Man muß also die Richtung und den Betrag des während der Wärmebehandlung angelegten Magnetfelds in geeigneter Weise steuern, um auf diesem Weg die Magnetisierungsrichtung der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht 52 und 54 einzustellen. Wenn zum Beispiel der Wert von  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht 52 größer ist als  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht 54, sollte ein Magnetfeld von 100 (Oe) bis 1 k(Oe) oder von 5 k(Oe) in der gewünschten Magnetisierungsrichtung der ersten fixierten Magnetschicht 52 angelegt werden. Wenn zum Beispiel die erste fixierte Magnetschicht 52 in Y-Richtung magnetisiert werden soll, so wird ein Magnetfeld von 100 k(Oe) in Richtung Y angelegt. Die erste fixierte Magnetschicht 52 mit dem großen Wert  $M_s \cdot t_{p1}$  wird in die Richtung des Magnetfelds, das heißt in die Richtung Y gelenkt, und die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht 52 wird in Y-Richtung festgelegt (pinned), bedingt durch das Austausch-Koppelmagnetfeld (das anisotrope Austausch-Magnetfeld), welches an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten Magnetschicht 52 und der antiferromagnetischen Schicht 51 erzeugt wird. Andererseits wird die Magnetisierung der zweiten fixierten Magnetschicht 54 entgegen der Richtung Y festgelegt, bedingt durch das Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung), welches zwischen der ersten fixierten Magnetschicht 52 und der zweiten fixierten Magnetschicht 54 gebildet wird. Alternativ wird ein Magnetfeld von 5 k(Oe) oder darüber in Y-Richtung angelegt. Dieses Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung) zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht 52 und 54 beträgt etwa 1 k(Oe) bis 5 k(Oe), so daß das Anlegen eines Magnetfelds von 5 k(Oe) oder darüber zur Folge hat, daß die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht 52 und die Magnetisierung der zweiten fixierten Magnetschicht 54 beide in die Richtung Y gelenkt werden. Zu diesem Zeitpunkt wird die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht 52 in Y-Richtung festgelegt aufgrund des Austausch-Koppelmagnetfelds (des anisotropen Austausch-Magnetfelds), welches an der Grenzfläche zwischen der ersten Schicht 52 und der antiferromagnetischen Schicht 51 entsteht. Andererseits wird zur Zeit des Entfernens des Magnetfelds von 5 k(Oe) oder darüber die Magnetisierung der zweiten fixierten Magnetschicht 54 entgegen der Y-Richtung gelenkt und festgelegt durch das Austausch-Kopplungsmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung) zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht 52 und 54.

Alternativ: Wenn der Wert  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht 52 kleiner ist als der Wert  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht 54, sollte ein Magnetfeld von 100 (Oe) bis 1 k(Oe) entgegen der gewünschten Magnetisierungsrichtung der ersten fixierten Magnetschicht 52 angelegt werden, oder es sollte ein Magnetfeld von 5 k(Oe) oder darüber in der gewünschten Magnetisierungsrichtung für die Schicht 52 angelegt werden. Wenn zum Beispiel die erste fixierte Magnetschicht 52 in Richtung Y magnetisiert werden soll, wird ein Magnetfeld von 100 (Oe) bis 1 k(Oe) entgegen der Y-Richtung angelegt. Dementsprechend wird die zweite fixierte Magnetschicht 54 mit dem großen Wert von  $M_s \cdot t_{p2}$  in Richtung des Magnetfelds gelenkt, das heißt entgegen der Richtung Y, und aufgrund des Austausch-Koppelmagnetfelds (RKKY-Wechselwirkung) zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht 52 und 54 wird die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht 52 in Y-Richtung gelenkt. Die Magnetisierung der ersten Schicht 52 wird in Y-Richtung fixiert aufgrund des Austausch-Koppelfelds (anisotropes Austausch-Magnetfeld), das an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten Magnetschicht 52 und der antiferromagnetischen Schicht 51 entsteht, und die Magnetisierung der zweiten fixierten Magnetschicht 54 wird entgegen der Richtung Y festgelegt. Alternativ kann man auch ein Magnetfeld von 5 k(Oe) oder mehr in Richtung Y anlegen. Das Anlegen eines Magnetfelds von 5 k(Oe) oder mehr veranlaßt, daß die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht 52 und diejenige der zweiten Magnetschicht 54 beide in Richtung Y gelenkt werden, wobei die Magnetisierung der ersten Magnetschicht 52 in Y-Richtung aufgrund des Austausch-Koppelmagnetfelds festgelegt wird (aufgrund des anisotropen Austausch-Magnetfelds), das an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten Schicht 52 und der antiferromagnetischen Schicht 51 gebildet wird. Zur Zeit der Entfernung des Magnetfelds von 5 k(Oe) oder mehr wird die Magnetisierung der zweiten fixierten Magnetschicht 54, die in Y-Richtung gewesen hatte, aufgrund des Austausch-Koppelmagnetfelds (RKKY-Wechselwirkung) zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht 52 und 54 entgegen der Y-Richtung gelenkt und festgelegt.

Wenn die Richtung X und die Richtung Y gemäß Darstellung in den Figuren als positive Richtung und die Richtungen entgegen der X- und Y-Richtung der Figur als negative Richtung angenommen werden, so ist es erfindungsgemäß bevorzugt, wenn der Absolutwert des sogenannten zusammengesetzten magnetischen Moments, erhalten durch Addieren des Werts  $M_s \cdot t_{F1}$  der ersten freien Magnetschicht 56 auf den Wert  $M_s \cdot t_{F2}$  der zweiten freien Magnetschicht 60, größer ist als der Absolutwert des zusammengesetzten magnetischen Moments, welches man erhält durch Addieren des Werts  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht 52 auf den Wert  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht 50. Das heißt, man strebt die Beziehung  $(M_s \cdot t_{F1} + M_s \cdot t_{F2}) / (M_s \cdot t_{p1} + M_s \cdot t_{p2}) > 1$  an.

Eine Anordnung, bei der der Absolutwert des zusammengesetzten magnetischen Moments der ersten freien Magnetschicht 56 und der zweiten freien Magnetschicht 60 größer ist als der Absolutwert des zusammengesetzten magnetischen Moments der ersten fixierten Magnetschicht 52 und der zweiten fixierten Magnetschicht 54, hat die Vorteile, daß die Magnetisierung der ersten freien Magnetschicht 56 und der zweiten freien Magnetschicht 60 nicht so leicht beeinflußt wird durch das zusammengesetzte magnetische Moment der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht 52 und 54, und die Magnetisierung der ersten freien Magnetschicht 56 und der zweiten freien Magnetschicht 60 mit höherer Empfind-

lichkeit gegenüber äußeren Magnetfeldern dreht, was eine Verstärkung des Ausgangssignals ermöglicht.

Fig. 9 ist eine seitliche Schnittansicht, die schematisch den Aufbau eines Magnetowiderstandselements nach einer fünften Ausführungsform der Erfindung zeigt, Fig. 10 ist eine Schnittansicht dieses Magnetowiderstandselements nach Fig. 9 bei Sicht von der dem Aufzeichnungsträger gegenüberliegenden Seite.

Dieses Magnetowiderstandselement ist so aufgebaut, daß die Schichtenfolge des in Fig. 7 und 8 gezeigten Magnetowiderstandselements umgekehrt ist.

Dementsprechend enthält das Magnetowiderstandselement von unten ausgehend: eine Basisschicht 7, eine zweite freie Magnetschicht 71, eine nichtmagnetische Zwischenschicht 72, eine erste freie Magnetschicht 73, eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht 76, eine zweite fixierte magnetische Schicht 77, eine nichtmagnetische Zwischenschicht 78, eine erste fixierte magnetische Schicht 79, eine antiferromagnetische Schicht 80 und eine Schutzschicht 81 in dieser Reihenfolge.

Die Basisschicht 70 und die Schutzschicht 81 bestehen aus Ta oder einem ähnlichen Werkstoff. Die antiferromagnetische Schicht 80 besteht vorzugsweise aus einer PtMn-Legierung. PtMn-Legierungen besitzen eine höhere Korrosionsbeständigkeit als NiMn-Legierungen oder FeMn-Legierungen, die üblicherweise für antiferromagnetische Schichten verwendet werden, außerdem ist die Sperrtemperatur hoch und man erzielt ein starkes Austausch-Koppelmagnetfeld. Erfindungsgemäß können anstelle der PtMn-Legierungen auch X-Mn-Legierungen (X ist eines der folgenden Elemente: Pd, Ir, Th, Ru, Os) oder PtMn-X'-Legierungen verwendet werden (X' ist mindestens eines der folgenden Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Au, Ag).

Die erste fixierte Magnetschicht 79 und die zweite fixierte Magnetschicht 77 bestehen aus einem Co-Film, einer NiFe-Legierung, einer Co-Fe-Legierung, einer Co-Ni-Legierung, einer Co-NiFe-Legierung oder dergleichen. Außerdem wird die nichtmagnetische Zwischenschicht 78 vorzugsweise aus einem der folgenden Elemente oder einer Legierung aus mindestens zwei von diesen Elementen gebildet: Ru, Rh, Ir, Cr, Re und Cu. Außerdem besteht die nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht 76 aus Cu oder einem ähnlichen Werkstoff.

Bei dem Magnetowiderstandselement nach Fig. 9 und 10 liegt der Wert (Dicke  $t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht 79)/(Dicke  $t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht 77) vorzugsweise in einem Bereich von 0,33 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 4, und die Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten Schicht 79 und die Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten Schicht 77 liegen beide im Bereich von 10 bis 70 Angström, wobei außerdem die Beziehung gelten soll:  $| \text{Schichtdicke } t_{p1} \text{ der ersten fixierten Magnetschicht 79 minus Schichtdicke } t_{p2} \text{ der zweiten fixierten Magnetschicht 77} | \geq 2 \text{ Angström}$ . Eine geeignete Einstellung in diesem Wertebereich macht es möglich, ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr zu erreichen.

Besonders bevorzugt wird erfindungsgemäß der Wert (Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten Schicht 79)/(Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten Schicht 77) so gewählt, daß er in einem Bereich von 0,53 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 1,8 liegt, und die Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten Schicht 79 und die Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten Schicht 77 liegen beide vorzugsweise in einem Bereich von 10 bis 50 Angström mit Schichtdicke  $t_{p2}$  der Schicht 79 minus Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten Schicht 77  $\geq 2$  Angström. Eine geeignete Einstellung im Rahmen dieser Bereiche ermöglicht die Erzielung eines Austausch-Koppelmagnetfelds von 1000 (Oe) oder darüber.

Wie oben ausgeführt, wird ein stabiler Magnetisierungszustand entsprechend einem Ferri-Zustand nicht so leicht erreicht, wenn es nicht eine gewisse Differenz zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht 79 und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht 77 gibt. Andererseits kommt es dann, wenn die Differenz zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 79 und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 77 zu groß ist, zu einer unerwünschten Verschlechterung des Austausch-Koppelmagnetfelds. Erfindungsgemäß ist dementsprechend bezüglich der Filmschichtdicke aus Schichtdicke  $t_{p1}$  der Schicht 79 und Schichtdicke  $t_{p2}$  der Schicht 77 vorzugsweise vorgesehen, daß der Wert (magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 79)/magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht 77 in einem Bereich von 0,33 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 4 liegt. Außerdem wird erfindungsgemäß bevorzugt, wenn die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 79 und die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 77 jeweils in einem Bereich von 10 bis 70 (Angström-Tesla) liegen, und außerdem ein Absolutwert der Differenz zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 77 und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 79 gleich oder größer 2 (Angström-Tesla) ist.

Noch mehr bevorzugt ist, wenn der Wert (magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 79)/(magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 77) in einem Bereich von 0,53 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 1,8 liegt. Außerdem ist es im Rahmen der oben angegebenen Bereiche bevorzugt, wenn die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der Schicht 79 und die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schicht 77 in einem Bereich von jeweils 10 bis 50 (Angström-Tesla) liegen, wobei der Absolutwert, erhalten durch Subtrahieren der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schichtdicke 77 von der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schicht 79, gleich oder größer 2 (Angström-Tesla) ist.

Außerdem wird bevorzugt, wenn die Schichtdicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht 78 zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht 79 und 77 im Bereich von 2,5 bis 6,4 oder 6,6 bis 10,7 Angström liegt. Innerhalb dieses Bereichs läßt sich ein Austausch-Koppelfeld von 500 (Oe) oder mehr erreichen. Noch bevorzugter liegt die Schichtdicke der Schicht 78 im Bereich von 2,8 bis 6,2 Angström oder 6,8 bis 10,3 Angström, da dann ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder darüber erreicht werden kann.

Bevorzugt wird außerdem eine Dicke von 90 Angström oder mehr für die antiferromagnetische Schicht 80. In diesem Bereich kann man ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr erreichen. Noch mehr bevorzugt ist eine Dicke von 100 Angström oder mehr, bei der ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder mehr erreicht werden kann.

Bei dem in Fig. 10 gezeigten Magnetowiderstandselement ist die freie Magnetschicht unterteilt und in Form von zwei Lagen oder Schichten ausgebildet, wobei eine erste freie Magnetschicht 73 auf der Seite gebildet ist, die in Berührung mit der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht 76 gelangt, während die andere freie magnetische Schicht durch



die zweite freie magnetische Schicht 71 gebildet wird. Wie in Fig. 10 zu sehen ist, besteht die erste freie magnetische Schicht 73 aus den zwei Schichten, wobei der Film 75 auf der Seite gebildet ist, die mit der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht 76 in Berührung gelangt, und der Film 75 als Co-Film ausgebildet ist. Die auf der in Berührung mit der nichtmagnetischen Zwischenschicht 72 gelangenden Seite ausgebildeten Schicht 74 und die zweite freie Magnetschicht 71 bestehen aus beispielsweise einer NiFe-Legierung, einer Co-Fe-Legierung, einer Co-Ni-Legierung, einer Co-NiFe-Legierung oder dergleichen.

Das in Fig. 8 dargestellte Drehventil-Gebilde zwischen der Basisschicht 70 und der Schutzschicht 81 hat geneigte Seiten, so daß die Drehventil-Schichtanordnung die Form eines Trapezes hat. Auf jeder Seite der Drehventil-Schichtstruktur sind hartmagnetische Vormagnetisierungsschichten 82 und elektrisch leitende Schichten 83 ausgebildet. Die Vormagnetisierungsschichten 82 bestehen aus einer Co-Pt-Legierung, einer Co-Cr-Pt-Legierung, etc., und die elektrisch leitenden Schichten sind aus Cu, Cr oder dergleichen gebildet.

Zwischen die erste freie Magnetschicht 73 und die zweite freie Magnetschicht 71 gemäß Fig. 10 ist eine nichtmagnetische Zwischenschicht 72 eingefügt, so daß der Magnetismus der ersten freien Magnetschicht 73 und derjenige der zweiten freien Magnetschicht 71 zueinander in einem antiparallelen Zustand stehen (Ferri-Zustand), bedingt durch das Austausch-Koppelmagnetfeld (die RKKY-Wechselwirkung), das zwischen der ersten freien Magnetschicht 73 und der zweiten freien Magnetschicht 71 erzeugt wird. Bei dem in Fig. 10 gezeigten Magnetowiderstandselement ist die Schichtdicke  $t_{F1}$  der ersten freien Magnetschicht 73 größer gemacht als die Schichtdicke  $t_{F2}$  der zweiten freien Magnetschicht 71, und außerdem ist der Wert von  $M_s \cdot t_{F1}$  der ersten freien Magnetschicht 73 größer gemacht als der Wert von  $M_s \cdot t_{F2}$  der zweiten freien Magnetschicht 71, so daß im Fall des Anlegens eines Vormagnetisierungsfeldes seitens der Vormagnetisierungsschichten 82 in X-Richtung die Magnetisierung der ersten freien Magnetschicht 73, die den höheren Wert von  $M_s \cdot t_{F1}$  hat, von dem Vormagnetisierungsfeld derart beeinflusst wird, daß es sich in X-Richtung ausrichtet, während die Magnetisierung der zweiten freien Magnetschicht 71 mit dem kleineren Wert von  $M_s \cdot t_{F2}$  in eine Richtung entgegen der X-Richtung orientiert wird durch das Austausch-Koppelmagnetfeld (die RKKY-Wechselwirkung), das zwischen der ersten freien Magnetschicht 73 und der zweiten freien Magnetschicht 71 gebildet wird. Erfindungsgemäß wird außerdem die Schichtdicke  $t_{F1}$  der ersten Schicht 73 kleiner gemacht als die Schichtdicke  $t_{F2}$  der zweiten Magnetschicht 71, und außerdem wird der Wert  $M_s \cdot t_{F1}$  der ersten Schicht 73 kleiner gemacht als der Wert  $M_s \cdot t_{F2}$  der zweiten Schicht 71.

Wenn ein äußeres Magnetfeld aus der Richtung Y eindringt, behält die Magnetisierung der ersten und der zweiten freien Magnetschicht 73 und 71 den Ferri-Zustand bei, und gleichzeitig dreht sie sich durch den Einfluß seitens des äußeren Magnetfelds. Dann ändert sich der elektrische Widerstand aufgrund der Beziehung zwischen der Magnetisierungsrichtung der ersten freien Magnetschicht 73, die einen Beitrag zu dem  $\Delta MR$ -Wert leistet, und der festgelegten Magnetisierung der zweiten fixierten Magnetschicht 71, wodurch sich die Signale aufgrund des äußeren Magnetfelds erfassen lassen.

Erfindungsgemäß wird das Schichtdickenverhältnis zwischen der Schichtdicke  $t_{F1}$  der ersten Schicht 73 und der Schichtdicke  $t_{F2}$  der zweiten Schicht 71 optimiert, um dadurch ein noch stärkeres Austausch-Koppelmagnetfeld zu erreichen, während gleichzeitig ein  $\Delta MR$ -Wert erhalten wird, der etwa demjenigen bei bekannten Anordnungen entspricht.

Erfindungsgemäß liegt der Wert (Schichtdicke  $t_{F1}$  der ersten Schicht 73)/Schichtdicke  $t_{F1}$  der zweiten Schicht 71) vorzugsweise in einem Bereich von 0,56 bis 0,83 oder 1,25 bis 5. Innerhalb dieses Bereichs kann man ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr erzielen. Außerdem beträgt erfindungsgemäß der Wert (Schichtdicke  $t_{F1}$  der ersten Schicht 73)/(Schichtdicke  $t_{F2}$  der zweiten Schicht 71) in einem Bereich von 0,61 bis 0,83 oder 1,25 bis 2,1. In diesem Bereich kann man ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder mehr erzielen.

Wenn es nicht einen gewissen Unterschied zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F1}$  der ersten freien Magnetschicht 73 und der magnetischen Schichtdicke  $t_{F2}$  der zweiten freien Magnetschicht 71 gibt, läßt sich der Magnetisierungszustand nicht so leicht in einem Ferri-Zustand halten. Andererseits wird dann, wenn die Differenz zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F1}$  der Schicht 73 und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F2}$  der zweiten Schicht 71 zu groß ist, eine unerwünschte Verschlechterung des Austausch-Koppelmagnetfelds veranlaßt. Dementsprechend ist es erfindungsgemäß bezüglich des Schichtenverhältnisses zwischen der Schichtdicke  $t_{F1}$  der ersten Schicht 73 und der Schichtdicke  $t_{F2}$  der zweiten Schicht 71 bevorzugt, wenn der Wert (magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F1}$  der ersten Schicht 73)/(magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F2}$  der zweiten Schicht 71) in einem Bereich von 0,56 bis 0,83 oder in einem Bereich von 1,25 bis 5 liegt. Besonders bevorzugt wird erfindungsgemäß, wenn der Wert  $(M_s \cdot t_{F2})/(M_s \cdot t_{F1})$  in einem Bereich von 0,61 bis 0,83 oder in einem Bereich von 1,25 bis 2,1 liegt.

Erfindungsgemäß wird die zwischen der ersten freien Magnetschicht 73 und der zweiten freien Magnetschicht 71 befindliche nichtmagnetische Zwischenschicht 72 aus einem der folgenden Elemente oder aus einer Legierung aus zwei oder mehr dieser Elemente gebildet: Ru, Rh, Ir, Cr, Re und Cu. Außerdem wird bevorzugt, wenn die Schichtdicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht 72 im Bereich von 5,5 bis 10,0 Angström liegt. Innerhalb dieses Bereichs läßt sich ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr erzielen. Noch mehr bevorzugt liegt die Schichtdicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht 72 im Bereich von 5,9 bis 9,4 Angström. In diesem Bereich läßt sich sogar ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder mehr erreichen.

Die Einstellung des Schichtdickenverhältnisses der ersten fixierten Magnetschicht 79 und der zweiten fixierten Magnetschicht 77, der Schichtdicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht 78 und der antiferromagnetischen Schicht 80, des Schichtdickenverhältnisses der ersten freien Magnetschicht 73 und der zweiten freien Magnetschicht 71, und der Schichtdicke der nichtmagnetischen Schicht 72 entsprechend den oben angegebenen Bereichen macht es möglich einen  $\Delta MR$ -Wert (Rate der Geschwindigkeitsänderung) zu erhalten, der den Werten bei bekannten Anordnungen entspricht.

Als nächstes wird das Wärmebehandlungsverfahren beschrieben. Wenn z. B. der Wert  $M_s \cdot t_{P1}$  der ersten fixierten Ms 79 größer ist als  $M_s \cdot t_{P2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht 77, sollte ein Magnetfeld von 100 (Oe) bis 1 (kOe) oder 5 (kOe) in der Richtung angelegt werden, in der die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht 79 festgelegt werden soll. Falls der  $M_s \cdot t_{P1}$  der ersten Schicht 79 kleiner ist als  $M_s \cdot t_{P2}$  der zweiten Schicht 77, sollte ein Magnetfeld von 100 (Oe) bis 1 (kOe) entgegen der Richtung angelegt werden, in der die erste fixierte Ms 79 gelenkt werden soll, oder es sollte ein Magnetfeld von 5 (kOe) oder stärker in der Richtung angelegt werden, in der die Schicht 79 magnetisiert wer-



den soll. Erfindungsgemäß wird die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht 79 in Y-Richtung festgelegt, und die Magnetisierung der zweiten fixierten magnetischen Schicht 77 wird entgegen der Y-Richtung magnetisiert. Alternativ wird die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht 79 entgegen der Y-Richtung magnetisiert, und die zweite Schicht 77 wird in Y-Richtung magnetisiert.

Es wird vereinbart, daß die X-Richtung und die Y-Richtung als positive Richtung und die der X- bzw. Y-Richtung entgegengesetzte Richtung als negative Richtung betrachtet wird. Nun ist es erfindungsgemäß bevorzugt, wenn der Absolutwert des sogenannten zusammengesetzten magnetischen Moments, den man durch Addieren von  $M_s \cdot t_{F1}$  der ersten freien Magnetschicht 73 aus dem Wert  $M_s \cdot t_{F2}$  der zweiten freien Magnetschicht 71 addiert, größer ist als der Absolutwert des zusammengesetzten magnetischen Moments, den man durch Addieren von  $M_s \cdot t_{P1}$  der ersten fixierten Magnetschicht 79 und  $M_s \cdot t_{P2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht 77 erhält. Mit anderen Worten, es wird angestrebt:  $| (M_s \cdot t_{F1} + M_s \cdot t_{F2}) / (M_s \cdot t_{P1} + M_s \cdot t_{P2}) | > 1$ .

Eine Anordnung, bei der der Absolutwert des zusammengesetzten magnetischen Moments der ersten freien magnetischen Schicht 73 und der zweiten freien magnetischen Schicht 71 größer ist als der Absolutwert des zusammengesetzten magnetischen Moments der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht 79 und 77, hat Vorteile, weil die Magnetisierung der ersten und der zweiten freien Magnetschicht 79 und 77 nicht so leicht beeinflußt wird von dem zusammengesetzten magnetischen Moment der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht 79 und 77, und die Magnetisierung der ersten und der zweiten freien Magnetschicht 73 und 71 sich mit höherer Empfindlichkeit bezüglich äußerer Magnetfelder dreht, wodurch man erhöhte Ausgangssignale erhalten kann.

Fig. 11 ist eine seitliche Schnittansicht des Aufbaus eines Magnetowiderstandselements nach einer sechsten Ausführungsform der Erfindung, Fig. 12 ist eine Querschnittansicht des Elements nach Fig. 11 bei Betrachtung von der dem Aufzeichnungsträger gegenüberliegenden Seite.

Dieses Dünnschichtelement ist ein sogenanntes Doppel-Drehventil-Magnetowiderstandselement mit nicht magnetischen elektrisch leitenden Schichten, fixierten Magnetschichten und antiferromagnetischen Schichten oberhalb und unterhalb einer die Mitte bildenden freien Magnetschicht, wobei die freien Magnetschichten und fixierten Magnetschichten jeweils aufgeteilt sind in zwei Lagen mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht.

Die unterste Schicht in den Fig. 11 und 12 ist eine Grundsicht 91, und auf dieser Grundsicht 91 sind folgende Schichten in der genannten Reihenfolge von unten nach oben angeordnet: eine antiferromagnetische Schicht 92, eine erste fixierte (untere) Magnetschicht 93, eine nichtmagnetische (untere) Zwischenschicht 94, eine zweite fixierte (untere) Magnetschicht 95, eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht 96, eine zweite freie Magnetschicht 97, eine nichtmagnetische Zwischenschicht 100, eine erste freie Magnetschicht 101, eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht 104, eine zweite (obere) fixierte Magnetschicht 105, eine nichtmagnetische (obere) Zwischenschicht 106, eine erste fixierte (obere) Magnetschicht 107, eine antiferromagnetische Schicht 108 und eine Schutzschicht 109.

Zunächst sollen die einzelnen Werkstoffe erläutert werden. Bevorzugt werden die antiferromagnetischen Schichten 92 und 108 aus einer PtMn-Legierung gebildet. Diese PtMn-Legierungen besitzen bessere Korrosionsbeständigkeit als NiMn-Legierungen oder FeMn-Legierungen, die üblicherweise für antiferromagnetische Schichten verwendet werden, ihre Sperrtemperatur ist hoch, und man kann mit ihnen ein starkes Austausch-Koppelmagnetfeld (anisotropes Austauschmagnetfeld) erzielen. Außerdem können anstelle der PtMn-Legierungen erfindungsgemäß X-Mn-Legierungen (X ist mindestens eines der Elemente Pd, Ir, Rh, Ru, Os) oder PtMn-X'-Legierungen (X' ist mindestens eines der Elemente Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Au, Ag) verwendet werden.

Die ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 93 und 107 und die zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 95 und 105 bestehen aus einem Co-Film, einer NiFe-Legierung, einer Co-Fe-Legierung, einer Co-Ni-Legierung, einer Co-MiFe-Legierung oder dergleichen. Außerdem werden die nichtmagnetischen (unteren und oberen) Zwischenschichten 94 und 106 zwischen den ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 93 und 107 und den zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 95 und 105, ferner die nichtmagnetische Zwischenschicht 110 zwischen der ersten und der zweiten freien Magnetschicht 101 und 97 aus einem der folgenden Elemente aus einer Legierung aus zwei solchen Elementen gebildet: Ru, Rh, Ir, Cr, Re und Cu. Außerdem werden die nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schichten 96 und 104 aus Cu oder einem ähnlichen Werkstoff gebildet.

Wie in Fig. 11 gezeigt ist, bestehen die erste und die zweite freie Magnetschicht 101 und 97 aus jeweils zwei Schichten. Die Schicht 103 der ersten freien Magnetschicht 101 und die Schicht 98 der zweiten freien Magnetschicht 97, die auf der mit den nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schichten 96 und 104 in Kontakt kommenden Seite ausgebildet sind, bestehen aus Co-Schichten. Außerdem sind die Schicht 102 der ersten freien Magnetschicht 101 und die Schicht 99 der zweiten freien Magnetschicht 97 mit der dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht 100 aus einer NiFe-Legierung, einer Co-Fe-Legierung, einer Co-Ni-Legierung, einer Co-NiFe-Legierung oder dgl. gebildet.

Die Ausbildung der Schichten 98 und 103 auf der Seite, die mit den nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schichten 96 und 104 aus Co in Berührung kommen, ermöglichen die Erzielung höherer AMR-Werte, außerdem wird Dispersion der nichtmagnetischen elektrisch leitenden Schichten 96 und 104 unterbunden.

Als nächstes sollen die Bereiche für die Schichtdicken jeder Schicht erläutert werden. Vorzugsweise ist vorgesehen, daß das Schichtdickenverhältnis zwischen der Schichtdicke  $t_{P1}$  der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht 93 und der Schichtdicke  $t_{P2}$  der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht 95 unterhalb der freien Magnetschicht, und das Schichtdickenverhältnis zwischen der Schichtdicke  $t_{P1}$  der ersten (oberen) Magnetschicht 107 und der Schichtdicke  $t_{P2}$  der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht 105 oberhalb der freien Magnetschicht derart beschaffen sind, daß der Wert  $(\text{Schichtdicke } t_{P1} \text{ der ersten (unteren und oberen) Schicht 93 und 97}) / (\text{Schichtdicke } t_{P2} \text{ der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschicht 95 und 105})$ . In einem Bereich von 0,33 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 4 liegt. Außerdem wird bevorzugt, daß die Schichtdicke der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschicht 93 und 107 sowie die Schichtdicke der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschicht 95 und 105 im Bereich von 10 bis 70 Angström liegt, wobei außerdem die Schichtdicke  $t_{P1}$  der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 93 und 107 abzüglich der Schichtdicke  $t_{P2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschicht 95 und 105  $| \leq 2$  Angström. In den genannten Bereichen läßt sich ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder darüber erhalten.

Erfindungsgemäß wird außerdem bevorzugt, wenn der Wert (Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten oberen und unteren fixierten Magnetschicht **93** und **107**)/Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten unteren und oberen fixierten Magnetschicht **95** und **105**) in einem Bereich von 0,53 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 1,8 liegt, wobei außerdem die Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten unteren und oberen fixierten Magnetschichten **93** und **107** und die Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten unteren und oberen fixierten Magnetschichten **95** und **105** in einem Bereich von 10 bis 50 Angström liegen, wobei die Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten **93** und **107** abzüglich der Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten **95** und **105**  $\leq 2$  Angström. Bei diesen Bereichen läßt sich ein Austausch-Koppel-magnetfeld von 1000 (Oe) oder mehr erzielen.

Wie oben erläutert, wird erfindungsgemäß ein antiferromagnetisches Material wie z. B. eine PtMn-Legierung oder dgl. für die antiferromagnetischen Schichten **92** und **108** verwendet, welches eine Wärmebehandlung erforderlich macht, um ein Austausch-Koppelmagnetfeld (ein anisotropes Austauschmagnetfeld) an der Grenzfläche zwischen den ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten **93** und **107** und den antiferromagnetischen Schichten **92** und **108** zu erzeugen.

Allerdings kommt es an der Grenzfläche zwischen den antiferromagnetischen Schichten **92** unterhalb der freien Magnetschicht und der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht **93** leicht zu einer Dispersion der Metallelemente, wodurch sich leicht eine thermische Dispersionsschicht ausbildet, demzufolge die als die erste fixierte (untere) Magnetschicht **93** dienende magnetische Schicht dünner ist als die tatsächliche Schichtdicke  $t_{p1}$ . Um also in passender Weise das in den Schichten oberhalb der freien Magnetschicht erzeugte Austausch-Koppelmagnetfeld und das in den Schichten unterhalb der freien Magnetschicht erzeugte Austausch-Koppelmagnetfeld auszugleichen, wird bevorzugt, wenn der Wert (Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht **93**)/Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht **95**) unterhalb der freien Magnetschicht größer ist als der Wert (Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht **107**)/Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht **105**) oberhalb der freien Magnetschicht. Das Ausgleichen des Austausch-Koppelmagnetfelds, welches in den Schichten oberhalb der freien Magnetschicht erzeugt wird, mit dem Austausch-Koppelmagnetfeld, daraus in den Schichten unterhalb der freien Magnetschicht erzeugt wird, verringert die Beeinträchtigung des Austausch-Koppelmagnetfelds beim Herstellungsprozeß und steigert die Zuverlässigkeit des Magnetkopfs.

Aus der obigen Erläuterung geht hervor, daß nur dann, wenn es eine gewisse Differenz gibt zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten **93** und **107** einerseits und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten **95** und **105** andererseits, der Magnetisierungszustand leicht einen Ferri-Zustand einnehmen kann. Wenn hingegen die Differenz zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten **93** und **107** und die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten **95** und **105** zu groß ist, wird dies zu einer unerwünschten Beeinträchtigung des Austausch-Koppelmagnetfelds. Folglich wird erfindungsgemäß das Schichtdickenverhältnis der Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschichten **93** und **107** und der Schichtdicke der zweiten fixierten Magnetschichten **95** und **105** vorzugsweise so eingestellt, daß der Wert (magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schichten **93** und **107**)/(magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schichten **95** und **105**) in einem Bereich von 0,33 bis 0,95 oder in einem Bereich von 1,05 bis 4 liegt. Außerdem wird erfindungsgemäß bevorzugt, wenn die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren und oberen) Magnetschichten **93** und **107** und die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten **95** und **105** in einem Bereich von 10 bis 70 (Angström-Tesla) liegt, und außerdem ein Absolutwert, erhalten durch Subtrahieren der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schichten **95** und **105** von der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schichten **93** und **107**, gleich oder größer als 2 (Angström-Tesla) ist.

Noch mehr bevorzugt wird, wenn der Wert (magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schichten **93** und **107**)/(magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schichten **95** und **105**) in einem Bereich von 0,53 bis 0,95 oder 1,05 bis 1,8 liegt. Innerhalb der oben angegebenen Bereiche wird bevorzugt, daß die magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten **93** und **107** von der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten **95** und **105**, in einem Bereich von 10 bis 50 (Angström-Tesla) liegen, und ein Absolutwert, erhalten durch Subtrahieren der Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten Schichten **95** und **105** von der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten Schichten **93** und **107**, gleich oder größer 2 (Angström-Tesla) ist.

Außerdem liegt erfindungsgemäß bevorzugt der Schichtdickenwert der nichtmagnetischen (unteren) Zwischenschicht **94**, die sich zwischen der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht **93** und der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht **95** unterhalb der freien Magnetschicht befindet, vorzugsweise in dem Bereich von 3,6 bis 9,6 Angström. Innerhalb dieses Bereichs kann man ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) erreichen, weiterhin bevorzugt ist, wenn diese Schichtdicke in einem Bereich von 4 bis 9,4 Angström liegt. Innerhalb dieses Bereichs läßt sich sogar ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder mehr erreichen.

Außerdem liegt die Schichtdicke der nichtmagnetischen (oberen) Zwischenschicht **106**, welche sich zwischen der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht **107** und der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht **105** oberhalb der freien Magnetschicht befindet, vorzugsweise im Bereich von 2,5 bis 6,4 Angström oder im Bereich von 6,6 bis 10,7 Angström. In diesem Bereich läßt sich ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder darüber erreichen. Noch mehr bevorzugt liegt die Schichtdicke in dem Bereich von 2,8 bis 6,2 Angström oder im Bereich von 6,8 bis 10,3 Angström. In diesem Bereich läßt sich sogar ein Austausch-Koppelmagnetfeld von mindestens 1000 (Oe) erzielen.

Außerdem wird erfindungsgemäß bevorzugt, wenn die Dicke der antiferromagnetischen Schichten **92** und **108** mindestens 100 Angström beträgt, da eine Dicke von 100 Angström oder mehr dieser Schichten zu einem Austausch-Koppelmagnetfeld von mindestens 500 (Oe) oder mehr führt. Außerdem wird erfindungsgemäß eine Dicke von mindestens 110 Angström für die antiferromagnetischen Schichten **92** und **108** bevorzugt, um ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder darüber zu erreichen.

Außerdem beträgt erfindungsgemäß einer Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten freien magnetischen Schicht **101** und einer Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten freien Magnetschicht **97** der Wert  $t_{p1}/t_{p2}$  vorzugsweise zwischen 0,56 und 0,83 oder 1,25 bis

5. In diesem Bereich erhält man ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr. Besonders bevorzugt liegt das Verhältnis der Schichtdicke der ersten freien Magnetschicht zu der Schichtdicke der zweiten freien Magnetschicht in einem Bereich von 0,61 bis 0,83 oder von 1,25 bis 2,1. In diesem Bereich erzielt man ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder darüber.

Wenn es nicht eine gewisse Differenz gibt zwischen der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F1}$  der ersten freien Magnetschicht **101** und der magnetischen Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F2}$  der zweiten freien Magnetschicht **97**, läßt sich nicht so leicht ein Ferri-Zustand erreichen. Wenn andererseits die Differenz der Werte  $M_s \cdot t_{F1}$  für die Schicht **101** und  $M_s \cdot t_{F2}$  für die zweite Schicht **97** zu groß ist, führt dies zu einer unerwünschten Beeinträchtigung des Austausch-Koppelmagnetfelds. Erfindungsgemäß wird also hinsichtlich des Dickenverhältnisses zwischen der Schichtdicke  $t_{F1}$  der Schicht **101** und der Schichtdicke  $t_{F2}$  der zweiten Schicht **97** bevorzugt, daß der Wert (magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F1}$  der ersten freien Magnetschicht **101**)/(magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F2}$  der zweiten freien Magnetschicht **97**) in einem Bereich von 0,56 bis 0,83 oder in einem Bereich von 1,25 bis 5 liegt. Außerdem wird bevorzugt, wenn der Wert (magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F1}$  der ersten Schicht **101**)/(magnetische Schichtdicke  $M_s \cdot t_{F2}$  der zweiten Schicht **97**) in einem Bereich von 0,61 bis 0,63 oder in einem Bereich von 1,25 bis 2,1 liegt.

Was die nichtmagnetische Zwischenschicht **100** zwischen der ersten freien Magnetschicht **101** und der zweiten freien Magnetschicht **97** angeht, so liegt deren Dicke vorzugsweise in einem Bereich von 5,5 bis 10,0 Angström, da sich in diesem Bereich ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder darüber erreichen läßt. Noch bevorzugter liegt die Schichtdicke der Schicht **100** im Bereich von 5,9 bis 9,4 Angström, da dann ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder mehr erreicht werden kann.

Erfindungsgemäß wird eine passende Einstellung des Schichtdickenverhältnisses der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten **93** und **107** und der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten **95** und **105** vorgenommen, außerdem werden die Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschichten **93** und **107** und der zweiten fixierten Magnetschichten **95** und **105**, der nichtmagnetischen (unteren und oberen) Zwischenschichten **94** und **106** und der antiferromagnetischen Schichten **92** und **108** passend eingestellt, und außerdem wird das Schichtdickenverhältnis der ersten freien Magnetschicht **101** und der zweiten freien Magnetschicht **97** ebenso eingestellt wie die Schichtdicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht **100**. Aus diesen Einstellungen gemäß den jeweils oben angegebenen Bereichen ergibt sich ein  $\Delta$ -Wert, der etwa demjenigen bei bekannten Anordnungen entspricht.

Im folgenden soll das in den Fig. 11 und 12 dargestellte Doppel-Drehventil-Magnetowiderstandselement im einzelnen hinsichtlich der Magnetisierung erläutert werden. Die Magnetisierung der beiden zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten **95** und **105** oberhalb bzw. unterhalb der freien Magnetschicht muß so sein, daß entgegengesetzte Richtungen gegeben sind. Dies deshalb, weil die freie Magnetschicht aufgeteilt ist in die erste und die zweite freie Magnetschicht **101** bzw. **97**, und die Magnetisierung der ersten und der zweiten freien Magnetschicht **102** und **97** einem antiparallelen Zustand entspricht.

Wie in den Fig. 11 und 12 dargestellt ist, befindet sich dann, wenn die Magnetisierung der ersten freien Magnetschicht **101** entgegen der X-Richtung verläuft, die Magnetisierung der zweiten freien Magnetschicht **97** in einem Zustand, in der sie in X-Richtung weist, bedingt durch das Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung) zwischen den beiden Schichten **101** und **97**. Die Magnetisierung der ersten freien Magnetschicht **101** und der zweiten freien Magnetschicht **97** entspricht einem dauernden Ferri-Zustand, wird jedoch bei Beeinflussung durch ein äußeres Magnetfeld umgekehrt.

Bei dem in Fig. 11 und 12 dargestellten Doppel-Drehventil-Magnetowiderstandselement tragen die Magnetisierungen der ersten und der zweiten freien Magnetschicht **101** und **97** beide zu dem  $\Delta$ MR-Wert bei, indem sich der elektrische Widerstand ändert aufgrund der Beziehung zwischen der schwankenden Magnetisierung der ersten freien Magnetschicht **101** und der zweiten freien Magnetschicht **97** einerseits und dem fixierten Magnetismus der zweiten unteren und oberen Magnetschichten **95** bzw. **105**. Um die Funktionen des Doppel-Magnetowiderstandselements zu erzielen, bei dem ein höherer  $\Delta$ MR-Wert erwartet werden darf als bei einem Einzel-Magnetowiderstandselement, muß die Richtung der Magnetisierung der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten **95** und **105** derart gesteuert werden, daß die Änderung des Widerstands der ersten freien Magnetschicht **101** und der zweiten fixierten Magnetschicht (der oberen Schicht) **105** und die Änderung des Widerstands der zweiten freien Magnetschicht **97** und der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht **95** beide der gleichen Schwankung unterliegen. Das heißt: die Anordnung sollte derart beschaffen sein, daß dann, wenn die Widerstandsänderung der ersten freien Magnetschicht **101** und der zweiten fixierten Magnetschicht (der oberen Schicht) **105** einen Maximumwert erreicht, die Widerstandsänderung der zweiten freien Magnetschicht **97** und der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht **95** ebenfalls einen Maximumwert erreicht, wobei dann, wenn die Änderung des Widerstands der ersten freien Schicht **101** und der zweiten fixierten (oberen) Schicht **105** ein Minimum erreicht, auch die Widerstandsänderung der zweiten freien Magnetschicht **97** und der zweiten fixierten (unteren) Magnetschicht **95** ein Minimum erreicht.

Bei dem in Fig. 11 und 12 dargestellten Doppel-Magnetowiderstandselement erfolgt also die Magnetisierung der ersten freien Magnetschicht **101** und der zweiten freien Magnetschicht **97** so, daß ein antiparalleler Magnetisierungszustand erreicht wird. Deshalb muß die Magnetisierung der zweiten fixierten (oberen) Magnetschicht **105** entgegengesetzt zu der Magnetisierung der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht **95** erfolgen.

Im Licht des oben gesagten wird erfindungsgemäß die Magnetisierung der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht **105** entgegengesetzt vorgenommen zu der Magnetisierung der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht **95**, allerdings muß in geeigneter Weise der Wert  $M_s \cdot t$  jeder fixierten Magnetschicht vorgenommen werden, und während der Wärmebehandlung müssen Richtung und Betrag des Magnetfelds in geeigneter Weise gesteuert werden, um die gewünschte Magnetisierungsrichtung zu erhalten.

Bezüglich jeder  $M_s \cdot t$  jeder fixierten Magnetschicht ist es notwendig, daß der Wert  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten fixierten (oberen) Magnetschicht **107** oberhalb der freien Magnetschicht größer gemacht wird als  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht **105**, und daß  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht **93** unterhalb der freien Magnetschicht kleiner gemacht wird als  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht, oder daß  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (obe-

ren) fixierten Magnetschicht 107 oberhalb der freien Magnetschicht kleiner gemacht wird als  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht 105 und  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht 93 unterhalb der freien Magnetschicht größer gemacht wird als  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht 95. Erfindungsgemäß wird für die antiferromagnetischen Schichten 92 und 108 ein antiferromagnetischer Werkstoff wie z. B. eine PtMn-Legierung oder dgl. verwendet, der ein Glühen (eine Wärmebehandlung) in einem Magnetfeld erforderlich macht, um ein Austausch-Koppelmagnetfeld an der Grenzfläche zwischen den ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 93 und 107 und den antiferromagnetischen Schichten 92 und 108 zu erzeugen, so daß Richtung und Betrag des während der Wärmebehandlung angelegten Magnetfelds in geeigneter Weise eingestellt sein müssen. Wenn erfindungsgemäß der Wert  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 107 oberhalb der freien magnetischen Schicht größer ist als  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht 105, und weiterhin  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht 93 unterhalb der freien Magnetschicht kleiner ist als  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht 95, so wird ein Magnetfeld von 100 (Oe) oder 1 (kOe) in der Richtung angelegt, in der die erste (obere) fixierte Magnetschicht 107 oberhalb der freien Magnetschicht magnetisiert werden soll.

Falls z. B. gemäß Fig. 11 die Magnetisierung der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 107 in Y-Richtung gelenkt werden soll, wird ein Magnetfeld von 100 (Oe) bis 1 (kOe) in Y-Richtung angelegt. Dann wird die erste (obere) fixierte Magnetschicht 107 mit dem größeren Wert von  $M_s \cdot t_{p1}$  sowie die zweite (untere) fixierte Magnetschicht 95 unterhalb der freien Magnetschicht in der Richtung des angelegten Magnetfelds, d. h. in Y-Richtung gedreht. Andererseits wird die Magnetisierung der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht 105, die den kleineren Wert  $M_s \cdot t_{p2}$  hat und oberhalb der freien Magnetschicht liegt, antiparallel bezüglich der Magnetisierungsrichtung der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 107 magnetisiert aufgrund des Austausch-Koppelmagnetfelds (RKKY-Wechselwirkung) zwischen der zweiten fixierten (oberen) Magnetschicht 105 und der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 107. In der gleichen Weise wird die Magnetisierung der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht 93, die unterhalb der freien Magnetschicht liegt und den kleineren Wert von  $M_s \cdot t_{p2}$  hat, versuchen, einen Ferri-Zustand bezüglich der Magnetisierung der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht 95 einzunehmen, und sie wird entgegen der Y-Richtung magnetisiert. Die Magnetisierung der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 107 oberhalb der freien Magnetschicht wird mit Hilfe des Austausch-Koppelmagnetfelds (des anisotropen Austauschmagnetfelds) an der Grenzfläche zwischen der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 107 und der antiferromagnetischen Schicht 108 im Zuge der Wärmebehandlung fixiert, und die Magnetisierung der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht 105 wird entgegen der Y-Richtung festgelegt. In der gleichen Weise wird die Magnetisierung der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht 93 unterhalb der freien Magnetschicht mit Hilfe des Austausch-Koppelmagnetfelds (des anisotropen Austauschmagnetfelds) entgegen der Y-Richtung festgelegt, und die Magnetisierung der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht 95 wird in Y-Richtung festgelegt.

Wenn außerdem der Wert von  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 107 oberhalb der freien Magnetschicht kleiner gemacht wird als  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht 105, und  $M_s \cdot t_{p1}$  der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht 93 unterhalb der freien Magnetschicht größer gemacht wird als  $M_s \cdot t_{p2}$  der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht 95, wird ein Magnetfeld von 100 (Oe) oder 1 (kOe) in der Richtung angelegt, in der die erste (untere) fixierte Magnetschicht 93 unterhalb der freien Magnetschicht magnetisiert werden soll.

Auf diese Weise ermöglicht das Magnetisieren der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 95 und 105 oberhalb und unterhalb der freien Magnetschicht in entgegengesetzte Richtungen, einen  $\Delta MR$ -Wert zu erhalten, der den Werten bekannter Anordnungen in etwa gleich kommt.

Damit erfindungsgemäß die Magnetisierung der ersten freien Magnetschicht 101 und die Magnetisierung der zweiten freien Magnetschicht 97, die sich in einem Ferri-Zustand befinden, mit höherer Empfindlichkeit bezüglich größerer Magnetfelder umgedreht werden, sollte das zusammengesetzte magnetische Moment, welches man durch Addieren des magnetischen Moments der ersten freien Magnetschicht 101 und des magnetischen Moments der zweiten freien Magnetschicht 97 erhält, größer sein als das zusammengesetzte magnetische Moment, welches man durch Addieren des magnetischen Moments der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht 93 und des magnetischen Moments der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht 95 unterhalb der freien Magnetschicht erhält, und außerdem größer sein als das zusammengesetzte magnetische Moment, welches man erhält durch Addieren des magnetischen Moments der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 107 und des magnetischen Moments der zweiten (oberen) fixierten Magnetschicht 105, die oberhalb der freien Magnetschicht ausgebildet sind. Das heißt: wenn z. B. die magnetischen Momente in X- und Y-Richtung als positive Werte angenommen werden, hingegen magnetische Momente in Richtungen entgegen der Y- und X-Richtung als negative Werte angenommen werden, so wird bevorzugt, wenn das zusammengesetzte magnetische Moment  $|M_s \cdot t_{p1} + M_s \cdot t_{p1}|$  größer ist als das zusammengesetzte magnetische Moment  $|M_s \cdot t_{p1} + M_s \cdot t_{p2}|$  der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 107 und das magnetische Moment der zweiten fixierten (oberen) Magnetschicht 105, und das zusammengesetzte magnetische Moment  $|M_s \cdot t_{p1} + M_s \cdot t_{p2}|$  der ersten fixierten (unteren) Magnetschicht 93 und der zweiten fixierten magnetischen (unteren) Schicht 95.

Wie oben beschrieben, sind bei den in den Fig. 7 bis 12 dargestellten Magnetowiderstandselementen nicht nur die fixierten Magnetschichten in zwei Lagen unterteilt, sondern es ist auch die freie Magnetschicht in eine erste und eine zweite freie Magnetschicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht unterteilt, wobei die Magnetisierung der beiden freien Magnetschichten in einen Antiparallelzustand (Ferri-Zustand) gebracht ist aufgrund des Austausch-Koppelmagnetfelds (RKKY-Wechselwirkung), das zwischen den beiden freien Magnetschichten erzeugt wird, um hierdurch zu ermöglichen, daß die Magnetisierung der ersten und der zweiten freien Magnetschicht bei hoher Empfindlichkeit bezüglich äußerer Magnetfelder umgekehrt wird.

Außerdem läßt sich das Austausch-Koppelmagnetfeld dadurch erhöhen, wenn man entsprechend den oben angegebenen Bereichen das Schichtdickenverhältnis der ersten und der zweiten freien magnetischen Schicht, die Schichtdicke der zwischen der ersten und der zweiten freien magnetischen Schicht befindlichen nichtmagnetischen Schicht oder das Schichtdickenverhältnis der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht, der nichtmagnetischen Zwischenschicht zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht und der antiferromagnetischen Schichten einstellt. Der Magnetisierungszustand der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht ist die festgelegte Magnetisierung (fixierte Ma-

netisierung), und der Magnetisierungszustand der ersten und der zweiten freien Magnetschicht ist eine schwankende Magnetisierung, so daß sich ein thermisch stabiler Ferri-Zustand aufrechterhalten läßt und außerdem  $\Delta MR$ -Werte erreicht werden können, wie man sie von bekannten Anordnungen kennt.

Erfindungsgemäß läßt sich außerdem durch Einstellen der Richtung des Lesestroms ein noch thermisch stabilerer antiparalleler Zustand (Ferri-Zustand) zwischen der Magnetisierung der ersten und der Magnetisierung der zweiten fixierten Magnetschicht aufrechterhalten.

In den Magnetowiderstandselementen sind elektrisch leitende Schichten auf jeder Seite des Schichtaufbaus aus den antiferromagnetischen Schichten, den fixierten Magnetschichten, den nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schichten und den freien Magnetschichten ausgebildet, wobei der Lesestrom so geleitet wird, daß er aus diesen elektrisch leitenden Schichten heraus fließt. Der Lesestrom fließt hauptsächlich durch die einen geringen Widerstand aufweisenden nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schichten, die Grenzfläche zwischen den elektrisch leitenden Schichten und den fixierten Magnetschichten und die Grenzfläche zwischen den nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schichten und freien magnetischen Schichten. Erfindungsgemäß ist die fixierte Magnetschicht aufgeteilt in eine erste und eine zweite fixierte Magnetschicht, und der Lesestrom fließt hauptsächlich über die Grenzfläche zwischen der zweiten fixierten Magnetschicht und der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht.

Das Fließen des Lesestroms wird zu einem Lesestrom-Magnetfeld entsprechend der Korkenzieherregel. Erfindungsgemäß wird die Richtung des Lesestroms so gelenkt, daß die Richtung des Lesestrom-Magnetfelds die gleiche Richtung ist wie die des zusammengesetzten magnetischen Moments, welches man erhält durch Addieren des magnetischen Moments der ersten fixierten Magnetschicht und des magnetischen Moments der zweiten fixierten Magnetschicht.

Bei dem in Fig. 7 gezeigten Magnetowiderstandselement ist eine zweite fixierte Magnetschicht 54 unterhalb der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht 55 ausgebildet. In diesem Fall ist die Richtung des Lesestrom-Magnetfelds angepaßt an die Magnetisierungsrichtung der fixierten Magnetschicht, welche das größere magnetische Moment hat (d. h. entweder mit der ersten fixierten Magnetschicht 52 oder der zweiten fixierten Magnetschicht 54).

Wie in Fig. 7 zu sehen ist, ist das magnetische Moment der zweiten fixierten Magnetschicht 54 größer als dasjenige der ersten fixierten Magnetschicht 52, und das magnetische Moment der zweiten fixierten Magnetschicht 54 verläuft entgegen der Y-Richtung (d. h. in der Figur nach links). Folglich verläuft die Richtung des zusammengesetzten magnetischen Moments, welches erhalten wird durch Addieren des magnetischen Moments der ersten fixierten Magnetschicht 52 und des magnetischen Moments der zweiten fixierten Magnetschicht 54, entgegen der Y-Richtung (d. h. in der Figur nach links).

Wie oben ausgeführt, ist oberhalb der zweiten fixierten Magnetschicht 54 und der ersten fixierten Magnetschicht 52 die nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht 55 ausgebildet. Folglich sollte die Richtung des Lesestroms 112 derart eingestellt sein, daß das durch den Strom 112 gebildete Lesestrom-Magnetfeld bei mittig entlang der Schicht 55 fließendem Strom in der Figur unterhalb der Schicht 55 nach links gerichtet ist, um übereinzustimmen mit der Richtung des zusammengesetzten magnetischen Moments der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht 52 und 54.

Wie in Fig. 7 gezeigt ist, wird der Lesestrom 112 in X-Richtung gelenkt, um die Korkenzieherregel zu berücksichtigen. Aufgrund dieses Lesestroms dreht sich das Lesestrom-Magnetfeld nach rechts. Das Lesestrom-Magnetfeld wird also in der Richtung nach links (entgegen der Y-Richtung) auf die Schichten unterhalb der elektrisch leitenden Schicht 55 aufgebracht. Dieses Lesestrom-Magnetfeld verstärkt folglich das zusammengesetzte magnetische Moment, und das Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung), das zwischen der ersten fixierten Magnetschicht 52 und der zweiten fixierten Magnetschicht 54 wirkt, wird verstärkt, der antiparallele Zustand zwischen der Magnetisierung der Schicht 52 und der Magnetisierung der Schicht 54 kann zusätzlich thermisch stabilisiert werden.

Es ist bekannt, daß ein Lesestrom von 1 mA ein Lesestrom-Magnetfeld von etwa 30 (Oe) hervorruft, und daß außerdem die Temperatur des Bauelements um etwa 15°C steigt. Außerdem führt eine Steigerung der Drehzahl des Aufzeichnungsträgers auf etwa 1000 Upm zu einer Temperaturerhöhung des Bauelements auf etwa 100°C. Wenn also ein Lesestrom von 10 mA fließt, steigt die Temperatur des Magnetowiderstandselements auf etwa 250°C an, und es wird ein starkes Lesestrom-Magnetfeld von annähernd 300 (Oe) erzeugt.

In einem Bauelement mit einer so extrem hohen Umgebungstemperatur und einem so starken Lesestrom kommt es leicht dazu, daß der antiparallele Zustand zwischen der Magnetisierung der Schicht 52 und der Magnetisierung der Schicht 54 zusammenbricht, wenn die Richtung des zusammengesetzten magnetischen Moments, welches durch Addieren der magnetischen Momente der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht 52 und 54 erhalten wird, entgegengesetzt zu der Richtung des Lesestrom-Magnetfelds verläuft.

Neben der Einstellung der Richtung des Lesestrom-Magnetfelds muß außerdem ein antiferromagnetisches Material verwendet werden, das eine hohe Sperrtemperatur besitzt, damit die antiferromagnetische Schicht (11 oder 51 in den Fig. 1 und 7) die hohen Umgebungstemperaturen verträgt. Dementsprechend verwendet die vorliegende Erfindung für die antiferromagnetische Schicht eine PtMn-Legierung, die eine Sperrtemperatur von etwa 400°C besitzt.

Falls das zusammengesetzte magnetische Moment aus dem magnetischen Moment der ersten fixierten Magnetschicht 52 und dem magnetischen Moment der zweiten fixierten Magnetschicht 54 nach Fig. 7 nach rechts, also in Y-Richtung weist, sollte der Lesestrom so gelenkt werden, daß er entgegen der X-Richtung fließt, damit das Lesestrom-Magnetfeld so gebildet wird, daß es in der Figur nach links oder im Gegenuhrzeigersinn dreht.

Im folgenden soll die Lesestromrichtung für das in Fig. 3 dargestellte Magnetowiderstandselement erläutert werden.

Bei dem in Fig. 3 gezeigten Element sind die zweite fixierte Magnetschicht 25 und die erste fixierte Magnetschicht 27 oberhalb der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht 24 ausgebildet. Wie in Fig. 1 angegeben ist, ist das magnetische Moment der ersten fixierten Magnetschicht 27 größer als dasjenige der zweiten fixierten Magnetschicht 25, wobei die Richtung des magnetischen Moments der ersten Schicht 27 der Y-Richtung entspricht (rechts in der Figur). Dementsprechend weist das zusammengesetzte magnetische Moment, erhalten durch Addieren des magnetischen Moments der Schicht 27 und des magnetischen Moments der zweiten Schicht 25, in der Figur nach rechts.

Wie aus Fig. 3 hervorgeht, wird der Lesestrom 113 dazu gebracht, in X-Richtung zu fließen. Das Lesestrom-Magnetfeld verläuft entsprechend der Korkenzieherregel durch diesen Lesestrom 113 nach rechts im Uhrzeigersinn. Die zweite

und die erste fixierte Magnetschicht 25 und 27 sind oberhalb der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht 24 ausgebildet, so daß ein Lesestrom-Magnetfeld in die zweite und die erste fixierte Magnetschicht 25 und 27 nach rechts hin eindringt (in Y-Richtung), so daß die Richtung übereinstimmt mit dem zusammengesetzten magnetischen Element und demzufolge der antiparallele Zustand zwischen der Magnetisierung der zweiten Schicht 25 und der Magnetisierung der ersten Schicht 27 nicht mehr so leicht zusammenbricht.

Falls das zusammengesetzte magnetische Moment in der Figur nach links weisen würde (also entgegen der Y-Richtung), müßte man den Lesestrom 113 in die Richtung entgegen der X-Richtung fließen lassen, um auf diese Weise ein Lesestrom-Magnetfeld zu erzeugen, welches nach links dreht, also mit der Richtung des zusammengesetzten magnetischen Moments der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht 27 und 27 übereinstimmt.

Bei dem in Fig. 5 gezeigten Magnetowiderstandselement handelt es sich um ein Doppel-Drehventil-Magnetowiderstandselement, bei dem die ersten (die untere und die obere) fixierten Magnetschichten 32 und 43 und die zweiten (die untere und die obere) fixierten Magnetschichten 34 und 41 oberhalb bzw. unterhalb der freien Magnetschicht 36 ausgebildet sind.

Bei diesem Doppel-Magnetowiderstandselement müssen Richtung und Betrag des magnetischen Moments der ersten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 32 und 43 ebenso wie Richtung und Betrag des magnetischen Moments der zweiten (unteren und oberen) fixierten Magnetschichten 34 und 41 derart gesteuert werden, daß die zusammengesetzten magnetischen Momente oberhalb und unterhalb der freien Magnetschicht 36 in entgegengesetzte Richtungen weisen.

Wie in Fig. 5 dargestellt ist, ist das magnetische Moment der zweiten (unteren) fixierten magnetischen Schicht 34 unterhalb der Schicht 36 größer als das magnetische Moment der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht 32, und das magnetische Moment der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht 34 weist in der Figur nach rechts (in Richtung Y). Folglich weist das zusammengesetzte magnetische Moment, welches man durch Addieren des magnetischen Moments der ersten (unteren) Schicht 32 und des magnetischen Moments der zweiten (unteren) Schicht 34 erhält, in der Figur nach rechts (Y-Richtung) weist. Außerdem ist das magnetische Moment der ersten (oberen) Schicht 43 oberhalb der Schicht 36 größer als das magnetische Moment der zweiten (oberen) Schicht 41, und das magnetische Moment der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 43 weist in der Figur nach links (entgegen der Y-Richtung). Folglich weist das zusammengesetzte magnetische Moment, entsprechend der Summe des magnetischen Moments der ersten fixierten (oberen) Schicht 43 und des magnetischen Moments der zweiten fixierten (oberen) Magnetschicht 41 nach links (entgegen der Y-Richtung). Auf diese Weise sind erfindungsgemäß die zusammengesetzten magnetischen Momente oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht 36 entgegengesetzt orientiert.

Wie in Fig. 5 gezeigt ist, wird erfindungsgemäß der Lesestrom 114 dazu gebracht, entgegen der Richtung X zu fließen, um dadurch ein Lesestrom-Magnetfeld zu erzeugen, welches nach links dreht.

Das zusammengesetzte magnetische Moment, welches unterhalb der freien magnetischen Schicht 36 gebildet wird, weist in der Figur nach rechts (in die Y-Richtung), und das zusammengesetzte magnetische Moment oberhalb der freien magnetischen Schicht 36 weist in der Figur nach links (entgegen der Y-Richtung). Demzufolge paßt die Richtung jedes der beiden zusammengesetzten Momente zu der Richtung des Lesestrom-Magnetfelds, so daß der antiparallele Zustand der Magnetisierung der ersten (unteren) fixierten Magnetschicht 32 und der Magnetisierung der zweiten (unteren) fixierten Magnetschicht 34 unterhalb der Schicht 36 und auch der antiparallele Zustand der Magnetisierung der ersten (oberen) fixierten Magnetschicht 43 und der Magnetisierung der zweiten (oberen) Schicht 41 oberhalb der Schicht 36 thermisch stabil aufrechterhalten werden kann.

Für den Fall, daß das zusammengesetzte magnetische Moment unterhalb der Schicht 36 nach links zeigt und das zusammengesetzte magnetische Moment oberhalb der freien magnetischen Schicht 36 nach rechts weist, muß der Lesestrom 114 in der Figur in X-Richtung fließen, damit das Lesestrom-Magnetfeld, das durch diesen Lesestrom entsteht, in die gleiche Richtung weist wie das zusammengesetzte magnetische Moment.

Fig. 7 und 9 sind Ausführungsbeispiele von Magnetowiderstandselementen, bei denen die freie magnetische Schicht aufgeteilt wurde in eine erste und eine zweite freie magnetische Schicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Schicht. Falls die erste fixierte magnetische Schicht 52 und die zweite fixierte magnetische Schicht 54 in Fig. 7 unterhalb der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht 55 liegen, sollte der Lesestrom genauso wie bei der Ausführungsform in Fig. 1 gelenkt werden.

Auch im Fall der Anordnung nach Fig. 9, bei der die erste fixierte Magnetschicht 79 und die zweite fixierte Magnetschicht 77 oberhalb der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht 76 liegen, sollte der Lesestrom in eine Richtung gelenkt werden, wie dies bei dem Magnetowiderstandselement nach Fig. 3 der Fall ist.

Wie aus der obigen Erläuterung hervorgeht, erfolgt eine Anpassung der Richtung des Lesestrom-Magnetfelds aufgrund der Richtung des Lesestroms an die Richtung des zusammengesetzten magnetischen Moments, welches man erhält durch Addieren des magnetischen Moments der ersten fixierten Magnetschicht und des magnetischen Moments der zweiten fixierten Magnetschicht, so daß man durch diese Anpassung das zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht herrschende Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung) verstärkt, wodurch der antiparallele Zustand (Ferri-Zustand) zwischen der Magnetisierung der ersten und der Magnetisierung der zweiten fixierten Magnetschicht zusätzlich thermisch stabilisiert werden kann.

Um die thermische Stabilität zusätzlich zu steigern, verwendet die Erfindung eine PtMn-Legierung oder einen ähnlichen Werkstoff mit hoher Sperrtemperatur als antiferromagnetisches Material für die antiferromagnetische Schicht, so daß auch dann, wenn die Umgebungstemperatur im Vergleich zu bekannten Anordnungen stark ansteigt, der antiparallele Zustand (Ferri-zustand) zwischen der Magnetisierung der ersten und der Magnetisierung der zweiten fixierten magnetischen Schicht nicht so leicht zusammenbricht.

Falls die Stärke des Lesestroms erhöht wird, um eine Anpassung an erhöhte Aufzeichnungsdichten vorzunehmen und das Wiedergabe-Ausgangssignal größer zu machen, steigt damit auch das Lesestrom-Magnetfeld an, erfindungsgemäß jedoch wirkt dieses Lesestrom-Magnetfeld so, daß es das zwischen der ersten und zweiten fixierten Magnetschicht herrschende Austausch-Koppelmagnetfeld noch verstärkt, demzufolge der Magnetisierungszustand der ersten und der zwei-



ten fixierten Magnetschicht durch die Erhöhung des Lesestrom-Magnetfelds noch weiter stabilisiert wird.

Diese Steuerung des Lesestroms läßt sich in jedem Fall anwenden, unabhängig von dem jeweiligen antiferromagnetischen Werkstoff für die antiferromagnetische Schicht, also unabhängig davon, ob der Werkstoff einer Wärmebehandlung bedarf, um an der Grenzfläche zwischen der antiferromagnetischen Schicht und der fixierten magnetischen Schicht (der ersten fixierten magnetischen Schicht) das Austausch-Koppelmagnetfeld (das anisotrope Austauschmagnetfeld) zu erzeugen.

Die Magnetisierung der fixierten Magnetschicht läßt sich sogar bei einem konventionellen Einzel-Magnetowiderstandselement stabilisieren, bei dem die fixierte magnetische Schicht als Einzelschicht ausgebildet ist, wenn man die Richtung des Lesestrom-Magnetfelds durch entsprechende Wahl der Lesestrom-Richtung so einstellt, daß das Magnetfeld der Magnetisierungsrichtung der fixierten Magnetschicht entspricht.

Erfindungsgemäß wurde die Beziehung zwischen dem Schichtdickenverhältnis der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht, dem Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) und  $\Delta MR$  (Rate der Widerstandsänderung) gemessen, wobei ein Magnetowiderstandselement verwendet wurde, bei dem die fixierte Magnetschicht in eine erste und eine zweite fixierte Magnetschicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Schicht aufgeteilt war. Zunächst wurde die erste fixierte Magnetschicht (die Schicht, die in Berührung mit der antiferromagnetischen Schicht gelangte) auf 20 oder 50 Angström festgelegt, und die Schichtdicke der zweiten fixierten Schicht wurde variiert, und dabei wurde dann die Beziehung zwischen der Dicke der zweiten fixierten Magnetschicht und dem Austausch-Koppelmagnetfeld und dem  $\Delta MR$ -Wert untersucht wurde. Der Schichtaufbau bei diesen Versuchen lautete von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid/Ta (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (150)/erste fixierte Magnetschicht aus Co (20 oder 40)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru(7)/zweite fixierte Magnetschicht aus Co (X)/Cu (25)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Cu (25)/freie Magnetschicht aus Co (10) + NiFe (40)/Ta (30). Die Zahlenangaben in den Klammern stehen für die jeweilige Schichtdicke in Angström.

Außerdem wurde erfindungsgemäß im Anschluß an das Niederschlagen der Schichten bei diesem Magnetowiderstandselement dieses vier Stunden lang einer Wärmebehandlung bei 260°C bei gleichzeitigem Anlegen eines Magnetfelds von 200 (Oe) unterzogen. Die Ergebnisse der Versuche sind in den Fig. 14 und 15 dargestellt.

Aus Fig. 14 läßt sich entnehmen, daß dann, wenn die Dicke  $t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht (P1) auf 20 Angström festgelegt war, die Einstellung der Dicke  $t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht (P2) auf 20 Angström zu einem rapiden Abfall des Austausch-Koppelmagnetfelds (Hex) führte, und eine Zunahme der Dicke von  $t_{p2}$  zu einem allmählichen Abfall des Austausch-Koppelmagnetfelds führte. Außerdem läßt sich ersehen, daß dann, wenn die Dicke  $t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht (P1) auf 40 Angström festgelegt ist, die Einstellung der Dicke  $t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht (P2) auf 40 Angström zu einem rapiden Absinken des Austausch-Koppelmagnetfelds führt, wobei eine Erhöhung der Dicke  $t_{p2}$  über 40 Angström hinaus zu einem allmählichen Abfall des Austausch-Koppelmagnetfelds führt. Es kann außerdem erkannt werden, daß die Verringerung der Dicke  $t_{p2}$  unter 40 Angström zu einem sich verstärkenden Austausch-Koppelmagnetfeld bis hin zu 26 Angström führt, daß jedoch eine Verringerung der Dicke  $t_{p2}$  unter 26 Angström zu einem rapiden Abfall des Austausch-Koppelmagnetfelds führt.

Es wird angenommen, daß der Grund für den drastischen Ausfall des Austausch-Koppelmagnetfelds bei einer Dicke  $t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht (P1) und der Dicke  $t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht (P2) von gleichem Wert darin liegt, daß der Magnetismus der ersten fixierten Magnetschicht (P1) und der Magnetismus der zweiten fixierten Magnetschicht (P2) nicht so leicht in einen antiparallelen Zustand gelangen, d. h. daß es schwierig ist, den sogenannten Ferri-Zustand zu erreichen.

Wie in Verbindung mit der oben erläuterten Schichtkonfiguration ausgeführt wurde, sind die erste fixierte Magnetschicht (P1) und die zweite fixierte Magnetschicht (P2) jeweils als Co-Schichten ausgeführt und haben folglich die gleiche Sättigungsmagnetisierung ( $M_s$ ). Da sie auch etwa die gleiche Dicke haben, haben das magnetische Moment ( $M_s \cdot t_{p1}$ ) der ersten fixierten Magnetschicht (P1) und das magnetische Moment ( $M_s \cdot t_{p2}$ ) der zweiten fixierten Magnetschicht (P2) etwa den gleichen Wert.

Die vorliegende Erfindung verwendet für die antiferromagnetische Schicht eine PtMn-Legierung und veranlaßt die Erzeugung eines Austausch-Koppelmagnetfelds an der Grenzfläche zwischen der antiferromagnetischen Schicht und der ersten fixierten Magnetschicht (P1) dadurch, daß die Schichten einer Wärmebehandlung in einem Magnetfeld ausgesetzt werden, um dadurch die erste fixierte Magnetschicht (P1) auf eine gewisse Richtung festzulegen.

Wenn allerdings das magnetische Moment der ersten fixierten Magnetschicht (P1) und der zweiten fixierten Magnetschicht (P2) etwa gleich groß sind, versuchen beide fixierte Magnetschichten (P1 und P2) eine Richtungsorientierung einzunehmen, die der Orientierung des Magnetfelds entspricht, welches während der Wärmebehandlung angelegt wird. Ursprünglich sollte ein Austausch-Koppelmagnetfeld zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht (P1 bzw. P2) in der Weise erzeugt werden, daß die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht (P1) und diejenige der zweiten fixierten Magnetschicht (P2) einen antiparallelen Zustand (Ferri-Zustand) bilden, hier weisen jedoch die Magnetisierungen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht (P1 und P2) in die gleiche Richtung des angelegten Magnetfelds, so daß eine Magnetisierung im antiparallelen Zustand nicht ohne weiteres möglich ist. Demzufolge ist der Magnetisierungszustand der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht (P1 und P2) extrem instabil hinsichtlich äußerer Magnetfelder und ähnlicher Einflüsse.

Dementsprechend wird bevorzugt, daß es eine Differenz gibt zwischen dem magnetischen Moment der ersten und dem magnetischen Moment der zweiten fixierten Magnetschicht. Wie allerdings auch aus Fig. 14 entnehmbar ist, führt eine zu starke Differenz zwischen den Schichtdicken  $t_{p1}$  der ersten Schicht (P1) und der Schichtdicke  $t_{p2}$  der zweiten Schicht (P2) sowie eine zu große Differenz zwischen dem magnetischen Moment der ersten Schicht (P1) und dem magnetischen Moment der zweiten Schicht (P2) zu einem Problem deshalb, weil das Austausch-Koppelmagnetfeld schlechter wird und der antiparallele Zustand leicht zusammenbricht.

Fig. 16 und 17 sind grafische Darstellungen, die die Beziehung zwischen der Dicke  $t_{p1}$  der ersten fixierten Magnetschicht und dem Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) sowie dem  $\Delta MR$ -Wert für den Fall veranschaulichen, daß die Dicke  $t_{p2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht (P2) auf 30 Angström festgelegt ist, und die Schichtdicke  $t_{p1}$  der ersten fi-

xierten Magnetschicht (P1) variiert wird. Der Schichtaufbau des Magnetowiderstands-Dünnschichtelements, das bei den Versuchen verwendet wurde, lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid/Ta (30)/PtMn (150)/erste fixierte Magnetschicht aus Co (X)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (7)/zweite fixierte Magnetschicht aus Co (30)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Cu (25)/freie Magnetschicht aus Co (10) + NiFe (40)/Ta (30). Die

Zahlenangaben in den Klammern beziehen sich auf die Schichtdicken in Angström.  
Erfindungsgemäß wird nach Beendigung des Schichtaufbaus des oben erläuterten Magnetowiderstandselements der Schichtaufbau vier Stunden lang einer Wärmebehandlung bei 260°C unter gleichzeitigem Anlegen eines Magnetfelds von 200 (Oe) unterzogen.

Wie in Fig. 16 zu sehen ist, fällt das Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) drastisch ab, wenn die Dicke  $t_{P1}$  der ersten Schicht (P1) 30 Angström beträgt, was auch der Schichtdicke  $t_{P2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht (P2) entspricht. Die Gründe hierfür sind oben erläutert worden.

Man kann außerdem verstehen, daß das Austausch-Koppelmagnetfeld dann kleiner wird, wenn die Dicke  $t_{P1}$  der ersten fixierten Magnetschicht (P1) etwa 32 Angström beträgt. Der Grund hierfür liegt darin, daß die magnetische Dicke der ersten fixierten Magnetschicht kleiner als die tatsächliche Dicke  $t_{P1}$  wird, bedingt durch die entstandene Wärmedispersionschicht, wobei der Wert die Dicke  $t_{P2}$  der zweiten fixierten Magnetschicht (= 30 Angström) erreicht.

Diese Wärmedispersionschicht wird an der Grenzfläche zwischen der antiferromagnetischen Schicht und der ersten fixierten Magnetschicht aufgrund der dispergierten Metallelemente gebildet, und wie in dem Schichtaufbau, der für diesen Versuch verwendet wurde, gezeigt ist, entsteht dann die Wärmedispersionschicht besonders leicht, wenn die antiferromagnetische Schicht und die fixierte magnetische Schicht unterhalb der freien magnetischen Schicht ausgebildet sind.

Fig. 18 ist eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen der Dicke der ersten fixierten Magnetschicht und dem Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex) für den Fall eines Doppel-Magnetowiderstandselements, bei dem zwei zweite fixierte magnetische Schichten auf jeweils 20 Angström festgelegt sind und die Schichtdicke der beiden ersten fixierten Magnetschichten variiert wird. Der Schichtaufbau des bei den Versuchen verwendeten Magnetowiderstandselements lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid/Ta (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (150)/erste fixierte Magnetschicht (untere P1) aus Co (X)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (6)/zweite fixierte Magnetschicht (untere P2) aus Co (20)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Cu (20)/freie magnetische Schicht aus Co (10) + NiFe (40) + Co (10)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Cu (20)/zweite fixierte Magnetschicht (obere P2) aus Co (20)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (8)/erste fixierte Magnetschicht (obere P1) aus Co (X)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (150)/Schutzschicht aus Ta (30). Die Zahlenangaben in den Klammern bedeuten die Schichtdicken in Angström.

Erfindungsgemäß wird nach dem Niederschlagen der Schichten für das oben erläuterte Magnetowiderstandselement der Schichtaufbau vier Stunden lang einer Wärmebehandlung bei 260°C unter gleichzeitigem Anlegen eines Magnetfelds von 200 (Oe) unterzogen.

Bei den Versuchen war die erste fixierte Magnetschicht (untere P1) unterhalb der freien Magnetschicht auf 25 Angström festgelegt, während die Dicke der ersten fixierten Magnetschicht (obere P1) oberhalb der freien Magnetschicht geändert wurde. Studiert wurde die Beziehung zwischen der Dicke der ersten fixierten Magnetschicht (obere P1) und dem Austausch-Koppelmagnetfeld.

Außerdem wurde die erste fixierte Magnetschicht (obere P1) oberhalb der freien Magnetschicht auf 25 Angström festgelegt, und es wurde die Dicke der ersten fixierten Magnetschicht (untere P1), die unter der freien Magnetschicht ausgebildet war, geändert. Studiert wurde die Beziehung zwischen der Dicke der ersten fixierten Magnetschicht (untere P1) und dem Austausch-Koppelmagnetfeld (Hex).

Wie in Fig. 18 gezeigt ist, wird im Fall der Festlegung der ersten fixierten Magnetschicht (untere P1) auf 25 Angström und einer Annäherung der Dicke der ersten fixierten Magnetschicht (obere P1) an 20 Angström ein Größenzuwachs des Austausch-Koppelmagnetfelds erreicht, allerdings wird an der Stelle, an der die Dicke der ersten fixierten Magnetschicht (obere P1) einen Wert um etwa 18 bis 22 Angström erreicht, diese Dicke etwa genauso groß wie die Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht (untere P1), demzufolge das Austausch-Koppelmagnetfeld rapide abfällt. Man kann verstehen, daß das Austausch-Koppelmagnetfeld dann allmählich abfällt, wenn die Dicke der ersten fixierten Magnetschicht (obere P1) allmählich von 22 auf 30 Angström zunimmt.

Wie außerdem in Fig. 18 zu sehen ist, wächst dann, wenn die erste fixierte Magnetschicht (obere P1) auf 25 Angström festgelegt ist und die Dicke der ersten fixierten Magnetschicht (untere P1) sich 20 Angström annähert, das Austausch-Koppelmagnetfeld allmählich an, allerdings fällt an dem Punkt, an dem die Dicke der ersten fixierten Magnetschicht (untere P1) einen Wert um 18 bis 20 Angström erreicht, das Austausch-Koppelmagnetfeld rapide ab. Man kann verstehen, daß das Austausch-Koppelmagnetfeld zunimmt, wenn die Dicke der ersten fixierten Magnetschicht (untere P1) von 22 Angström ausgehend bis hin zu 26 Angström zunimmt, allerdings fällt bei Werten von 26 Angström und darüber das Austausch-Koppelmagnetfeld ab.

Vergleicht man nun das Austausch-Koppelmagnetfeld in der ersten fixierten magnetischen Schicht (P1) und das Austausch-Koppelmagnetfeld in der ersten fixierten Magnetschicht (P1 unten) mit der Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht (P1 oben) um etwa 22 Angström herum, so läßt sich ersehen, daß das Austausch-Koppelmagnetfeld mit Hilfe einer Anordnung größer gemacht werden kann, bei der die Schichtdicke der ersten oberen fixierten Magnetschicht (P1) bei etwa 22 Angström liegt, verglichen mit einer Anordnung, bei der die Schichtdicke der ersten unteren fixierten Magnetschicht (untere P1) bei etwa 22 Angström liegt. Wie oben beschrieben, ist dies auf den Umstand zurückzuführen, daß sich an der Grenzfläche zwischen der ersten fixierten Magnetschicht (P1 unten) und der antiferromagnetischen Schicht leicht eine Wärmedispersionschicht ausbildet, wodurch die magnetische Dicke der ersten fixierten magnetischen Schicht wesentlich kleiner wird und etwa genauso groß wird wie die Dicke der zweiten fixierten Magnetschicht (P2 unten).

Der Wert (Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht (P1))/(Schichtdicke der zweiten fixierten Magnetschicht (P2)), bei dem ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr erfindungsgemäß erhalten wird, soll nun an-

hand der in den Fig. 14, 16 und 18 dargestellten Ergebnisse untersucht werden.

Wie Fig. 14 zeigt, läßt sich zunächst verstehen, daß dann, wenn die Dicke der ersten fixierten Magnetschicht (P1) auf 20 Angström festgelegt ist, der Wert (Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht (P1))/(Schichtdicke der zweiten fixierten Magnetschicht (P2)) zwischen 0,33 oder darüber oder 0,91 oder darunter oder auf 1,1 oder mehr eingestellt werden muß, um ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr zu erreichen. Die Schichtdicke der zweiten fixierten Magnetschicht (P2) liegt dabei in dem Bereich von 10 bis 60 Angström (ausgeschlossen der Bereich von 18 bis 22 Angström).

Als nächstes läßt sich der Fig. 14 entnehmen, daß dann, wenn die Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht (P1) auf 40 Angström festgelegt ist, der Wert (Schichtdicke der Schicht (P1))/(Schichtdicke der Schicht (P2)) auf zwischen 0,57 oder mehr und 0,95 oder weniger oder auf 1,05 oder mehr und 4 oder weniger eingestellt werden muß, um ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr zu erreichen. Die Schichtdicke der zweiten fixierten magnetischen Schicht (P2) liegt zu diesem Zeitpunkt in dem Bereich von 10 bis 60 Angström (wobei der Bereich von 38 bis 42 Angström ausgeschlossen ist).

Als nächstes läßt sich gemäß Fig. 14 feststellen, daß dann, wenn die Schichtdicke der zweiten fixierten Magnetschicht (P2) auf 30 Angström festgelegt ist der Wert (Schichtdicke der Schicht (P1))/(Schichtdicke der zweiten Schicht (P2)) eingestellt werden muß auf einen Wert zwischen 0,33 oder mehr und 0,93 oder weniger oder auf einen Wert zwischen 1,06 oder darüber und 2,33 oder weniger, um ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr zu erhalten. Die Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht (P1) liegt zu diesem Zeitpunkt in dem Bereich von 10 bis 70 Angström (ausgeschlossen der Bereich 28 bis 32 Angström).

Wie außerdem aus Fig. 18 entnehmbar ist, wird im Fall eines Doppel-Magnetowiderstandselements ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr erhalten, solange der Bereich von 0,9 und mehr sowie 1, 1 oder weniger aus dem Bereich für (Schichtdicke von P1)/(Schichtdicke von P2) ausgeschlossen ist.

Der größte Bereich, in dem das Austausch-Koppelmagnetfeld 500 (Oe) oder stärker ist, läßt sich zwischen 0,33 oder mehr und 0,95 oder weniger erreichen, oder aber 1,05 und darüber und 4 sowie weniger als 4 für den Wert (Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht P1)/(Schichtdicke der zweiten fixierten Magnetschicht P2).

Zusätzlich zu dem Verhältnis der Schichtdicken ist aber auch die Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht (P1) und der zweiten fixierten Magnetschicht (P2) selbst ein wichtiger Faktor hinsichtlich des Austausch-Koppelmagnetfelds. Dementsprechend wird bei dem oben angegebenen Dickenverhältnis und außerdem bei einer Schichtdicke der ersten fixierten und der zweiten fixierten Magnetschicht (P1 und P2) in einem Bereich von 10 bis 70 Angström, und außerdem bei dem Absolutwert, den man erhält durch Subtrahieren der Schichtdicke der zweiten Schicht (P2) von derjenigen der ersten Schicht (P2), von 2 Angström oder darüber, ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr erhalten.

Die Erfinder haben dann auch den Wert (Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht (P1))/(Schichtdicke der zweiten fixierten Magnetschicht (P2)) untersucht, bei dem man ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder mehr erhalten kann.

Wie in Fig. 14 zu sehen ist, wird in dem Fall, daß die Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht (P1) auf 20 Angström festgelegt ist und der Wert (Schichtdicke der Schicht (P1))/Schichtdicke der zweiten Schicht (P2)) zwischen 0,53 und 0,91 liegt oder 1,1 oder mehr beträgt, ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder darüber erhalten. Insbesondere liegt die Schichtdicke der zweiten fixierten Magnetschicht (P2) dann in dem Bereich von 10 bis 38 Angström (der Bereich von 18 bis 22 ist hierbei ausgeschlossen).

Gemäß Fig. 14 ist außerdem zu sehen, daß für den Fall, daß die Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht (P2) auf 40 Angström festgelegt ist und der Wert (Schichtdicke der Schicht (P1))/(Schichtdicke der zweiten Schicht (P2)) zwischen 0,88 und 0,95 oder zwischen 1,05 und 1,8 liegt, ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder mehr erzielbar ist. Die Schichtdicke der zweiten Magnetschicht (P2) liegt dabei in einem Bereich von 22 bis 45 Angström unter Abschluß des Bereichs von 38 bis 42 Angström.

Wie in Fig. 16 zu sehen ist, ermöglicht eine Schichtdicke der zweiten fixierten Magnetschicht von (P2) auf einem festen Wert von 30 Angström und einer Einstellung des Werts (Schichtdicke der ersten fixierten Schicht (P1))/(Schichtdicke der zweiten fixierten Magnetschicht (P2)) zwischen 0,56 und 0,93 oder zwischen 1,06 und 1,6 die Erzielung eines Austausch-Koppelmagnetfelds von 1000 (Oe) oder mehr. Insbesondere die Schichtdicke der ersten fixierten magnetischen Schicht (P1) liegt zu dieser Zeit in dem Bereich von 10 bis 50 Angström, wobei der Bereich von 28 bis 32 Angström ausgeschlossen ist.

In Fig. 18 ist zu sehen, daß bei einem Doppel-Magnetowiderstandselement die Einstellung des Werts (Schichtdicke der ersten fixierten Schicht (P2))/(Schichtdicke der zweiten fixierten Magnetschicht (P2)) auf einen Wert zwischen 0,5 und 0,9 oder 1,1 und 1,5 die Erzielung eines Austausch-Koppelmagnetfelds von 1000 (Oe) oder mehr ermöglicht.

Um also ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder mehr zu erreichen sollte der Wert (Schichtdicke der ersten fixierten Schicht (P1))/(Schichtdicke der zweiten fixierten Magnetschicht (P2)) auf den Bereich zwischen 0,53 und 0,9 oder den Bereich 1,05 und 1,8 eingestellt sein, wobei außerdem zu bevorzugen ist, daß die Schichtdicke der ersten und der zweiten Schicht (P1 und P2) in einem Bereich von 10 bis 50 Angström liegt, insbesondere der Absolutwert, den man durch Subtrahieren der Schichtdicke der zweiten fixierten Schicht (P1) von derjenigen der ersten fixierten Schicht (P1) erhält 2 Angström oder mehr beträgt.

Wie außerdem in den Fig. 15 und 17 zu sehen ist, erhält man einen  $\Delta$ MR-Wert von etwa 6% oder darüber, solange das Schichtdickenverhältnis und die Schichtdicke in den oben angegebenen Bereichen liegen, wobei nur ein geringer Abfall des Werts  $\Delta$ MR zu verzeichnen ist. Ein solcher  $\Delta$ MR-Wert entspricht etwa demjenigen bei bekannten Magnetowiderstandselementen (wobei allerdings von Einzel-Magnetowiderstandselementen die Rede ist), oder er liegt nur geringfügig unter den Werten der bekannten Elemente.

Man kann außerdem sehen, daß dann, wenn die erste fixierte Magnetschicht (P1) auf 40 Angström festgelegt ist, der  $\Delta$ MR-Wert etwas kleiner ist als bei Festlegung des Werts für die erste fixierte Magnetschicht (P1) auf 20 Angström.

Die erste fixierte Magnetschicht (P1) ist tatsächlich eine Schicht, die keine Bedeutung für den  $\Delta$ MR-Wert hat, der sich aus der Beziehung zwischen dem festgelegten Magnetismus der zweiten fixierten Magnetschicht (P2) und der schwan-

kenden Magnetisierung der freien Magnetschicht bestimmt. Allerdings fließt auch ein Lesestrom zu der ersten fixierten Magnetschicht (P1) was keinen Einfluß auf den  $\Delta MR$ -Wert hat, und es entstehen sogenannte Nebenschluß-Verluste (Ableitungsverluste), und es sind diese Nebenschluß-Verluste, die zunehmen, wenn die Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht (P1) zunimmt. Aufgrund der oben geschilderten Zusammenhänge neigt der Wert  $\Delta MR$  zum kleiner werden, wenn die Schichtdicke der ersten fixierten Magnetschicht (P1) zunimmt.

Es wurden Messungen bezüglich der passenden Dicke der Zwischenschicht zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht (P1 und P2) vorgenommen. Für diese Untersuchungen wurden zwei Typen von Magnetowiderstandselementen hergestellt: ein "Unten"-Typ, bei dem die antiferromagnetische Schicht unterhalb der freien magnetischen Schicht ausgebildet war, und einen "Oben"-Typ, bei dem die antiferromagnetische Schicht oberhalb der freien magnetischen Schicht ausgebildet war. Die Beziehung zwischen der Dicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht und dem Austausch-Koppelmagnetfeld wurde anschließend für diese Verhältnisse untersucht. Der Schichtaufbau des Unten-Typs von Magnetowiderstandselement lautete von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid/Ta (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (200)/erste fixierte Magnetschicht aus Co (20)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (X)/zweite fixierte magnetische Schicht aus Co (25)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Co (10)/freie magnetische Schicht aus Co (10) + NiFe (40)/Ta (30).

Der Schichtaufbau des Oben-Typs von Magnetowiderstandselement, das bei dem Versuch eingesetzt wurde, lautete von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid/Ta (30)/freie magnetische Schicht aus NiFe (40) + Co (10)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Co (25)/zweite fixierte Magnetschicht aus Co (25)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (X)/erste fixierte Magnetschicht aus Co (20)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (200)/Ta (30). Die Zahlenangaben in Klammern stehen für die jeweilige Schichtdicke in Angström.

Nach Beendigung des Schichtaufbaus wurde das jeweilige Magnetowiderstandselement dann vier Stunden lang einer Wärmebehandlung bei 260°C unter gleichzeitigem Anlegen eines Magnetfelds von 200 (Oe) unterzogen. Die Versuchsergebnisse sind in Fig. 19 dargestellt.

Wie in Fig. 19 gezeigt ist, ändert sich das Verhalten des Austausch-Koppelmagnetfelds hinsichtlich der Dicke der Ru-Schicht (der nichtmagnetischen Zwischenschicht) zwischen Oben-Typ und Unten-Typ stark.

Da die Erfindung einen Bereich vorsieht, in dem das Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr erreicht wird, läßt sich verstehen, daß der Dickenbereich der Ru-Schicht beim Oben-Typ des Magnetowiderstandselements, bei dem ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder darüber erhalten werden kann, zwischen 2,5 und 6,2 Angström oder 6,6 bis 10,7 Angström liegt. Besonders bevorzugt ist zum Erreichen eines Austausch-Koppelmagnetfelds von über 1000 (Oe) ein Dickenbereich der Ru-Schicht von 2,8 bis 6,2 Angström oder 6,8 bis 10,3 Angström bevorzugt.

Bei dem Unten-Typ des Magnetowiderstandselements liegt der Dickenbereich der Ru-Schicht zur Erzielung eines Austausch-Koppelmagnetfelds von 500 (Oe) oder mehr vorzugsweise in einem Bereich von 3,6 bis 9,6 Angström. Ein Bereich von 4,0 bis 9,4 Angström für die Ru-Schicht ermöglicht ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder mehr.

Es wird angenommen, daß der Grund für den Unterschied des besten Bereichs der nichtmagnetischen Zwischenschicht zwischen Unten-Typ und Oben-Typ des Magnetowiderstandselements darin liegt, daß das Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung), das zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht herrscht, auf die Beziehung zu den Gitterkonstanten der Basisschicht oder dem Energiebandwert der Leitungselektronen an den magnetischen Schichten äußerst empfindlich reagiert.

Im Rahmen der Erfindung wurden dann vier Typen von Magnetowiderstandselementen (Einzel-Magnetowiderstandselemente) hergestellt, und es wurde die Beziehung zwischen der Dicke der antiferromagnetischen Schicht (aus PtMn-Legierung) jedes Magnetowiderstandselements und dem Austausch-Koppelmagnetfeld gemessen.

Die erste und die zweite Ausführungsform sind Magnetowiderstandselemente, bei denen die fixierte Magnetschicht aufgeteilt ist in die erste und die zweite fixierte Magnetschicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Schicht, das erste und das zweite Vergleichsbeispiel sind bekannte Magnetowiderstandselemente, bei denen die fixierte Magnetschicht als Einzelschicht ausgebildet ist.

Das erste Magnetowiderstandselement nach der ersten Ausführungsform ist ein "Oben-Typ", bei dem die antiferromagnetische Schicht oberhalb der freien Magnetschicht ausgebildet ist. Der Schichtaufbau von unten nach oben lautet: Si-Substrat/Aluminiumoxid/Ta (30)/freie Magnetschicht aus NiFe (40) + Co (10)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Cu (25)/zweite fixierte Magnetschicht aus Co (25)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (4)/erste fixierte Magnetschicht aus Co (20)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (X)/Ta (30).

Das Magnetowiderstandselement der zweiten Ausführungsform ist ein "Unten-Typ", bei dem die antiferromagnetische Schicht unterhalb der freien Magnetschicht ausgebildet ist. Der Schichtaufbau dieser Ausführungsform lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid/Ta (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (X)/erste fixierte Magnetschicht aus Co (20)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (8); zweite fixierte Magnetschicht aus Co (25)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Co (25)/freie Magnetschicht aus Co (10) + NiFe (40)/Ta (30).

Außerdem ist das Magnetowiderstandselement des ersten Vergleichsbeispiels ein Oben-Typ mit oberhalb der freien Magnetschicht ausgebildeter antiferromagnetischer Schicht. Der Schichtaufbau lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid/Ta (30)/freie Magnetschicht aus NiFe (40) + Co (10)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Cu (25)/fixierte Magnetschicht aus Co (40)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (X)/Ta (30).

Das Magnetowiderstandselement nach dem zweiten Vergleichsbeispiel ist ein "Unten-Typ", mit unterhalb der freien Magnetschicht ausgebildeter antiferromagnetischer Schicht. Der Schichtaufbau dieser Ausführungsform lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid/Ta (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (X)/fixierte magnetische Schicht aus Co (40)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Cu (25)/freie Magnetschicht aus Co (10) + NiFe (40)/Ta (30).

Die Zahlenangaben in den Klammern bedeuten die Schichtdicken in Angström für das jeweilige Magnetowiderstandselement.

Erfindungsgemäß wurden die Magnetowiderstandselemente nach der ersten und der zweiten Ausführungsform vier

Stunden lang einer Wärmebehandlung bei 260°C bei gleichzeitigem Anlegen eines Magnetfelds von 200 (Oe) unterzogen. Die Magnetowiderstandselemente des ersten und des zweiten Vergleichsbeispiels wurden der gleichen Behandlung unterzogen, nur wurde ein Magnetfeld von 2 (kOe) angelegt.

Wie in Fig. 20 gezeigt ist, konnte das Austausch-Koppelmagnetfeld bei jedem der vier Magnetowiderstandselemente durch Erhöhen der Dicke der Schicht aus der PtMn-Legierung gesteigert werden.

Da nun die Erfindung vorsieht, einen bevorzugten Bereich zu schaffen, bei dem ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr erhalten wird, läßt sich verstehen, daß sowohl das erste als auch das zweite Vergleichsbeispiel für die Schicht aus der PtMn-Legierung eine Mindest-Dicke von 200 erfordern, weil ansonsten kein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr erreichbar ist.

Andererseits läßt sich ersehen, daß die erste und die zweite Ausführungsform auch dann ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr erreichen, wenn die Schicht aus der PtMn-Legierung 90 Angström oder dicker ist. Erfindungsgemäß liegt also der bevorzugte Bereich für die Schichtdicke der PtMn-Legierung zwischen 90 und 200 Angström.

Wie weiterhin aus Fig. 20 ersichtlich ist, kann man die erste und die zweite Ausführungsform mit einem Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder mehr dann erhalten, wenn die Schicht aus der PtMn-Legierung eine Dicke von 100 Angström oder mehr besitzt. Folglich liegt erfindungsgemäß der besonders bevorzugte Dickenbereich für die Schicht aus der PtMn-Legierung zwischen 100 und 200 Angström.

Im folgenden sollen zwei erfindungsgemäße Typen vom Doppel-Magnetowiderstandselement im Hinblick auf die Beziehung zwischen der Dicke der antiferromagnetischen Schicht (PtMn-Legierung) jedes Magnetowiderstandselements und des Austausch-Koppelmagnetfelds vermessen.

Erfindungsgemäß ist ein Doppel-Magnetowiderstandselement ein solches Element, bei dem die fixierten magnetischen Schichten aufgeteilt sind in jeweils zwei Schichten, nämlich die erste und die zweite fixierte Magnetschicht, wobei zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht eine nichtmagnetische Zwischenschicht vorhanden ist. Bei dem Vergleichsbeispiel handelt es sich um ein bekanntes Doppel-Magnetowiderstandselement, bei dem die fixierten Magnetschichten jeweils als Einzelschicht ausgebildet sind.

Der Schichtaufbau des Magnetowiderstandselements gemäß der Ausführungsform lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid/Ta (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (X)/erste fixierte Magnetschicht aus Co (20)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (6)/zweite fixierte Magnetschicht aus Co (25)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Cu (20)/freie Magnetschicht aus Co (10) + NiFe (40) + Co (10)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Cu (20)/zweite fixierte Magnetschicht aus Co (20)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (8)/erste fixierte Magnetschicht aus Co (25)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (X)/Ta (30).

Der Schichtaufbau des Magnetowiderstandselements des Vergleichsbeispiels lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid/Ta (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (X)/fixierte Magnetschicht aus Co (30)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Cu (20)/freie Magnetschicht aus Co (10) + NiFe (40) + Co (10)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Cu (20)/fixierte Magnetschicht aus Co (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (X)/Ta (30).

Die Zahlenangaben in den Klammern sind die Schichtdicken jeweils in Angström für die betreffenden Magnetowiderstandselemente.

Im Anschluß an die Fertigstellung der Schichten des Magnetowiderstandselements wurde die Ausführungsform vier Stunden lang einer Wärmebehandlung bei 260°C unter gleichzeitigem Anlegen eines Magnetfelds von 200 (Oe) unterzogen, ebenso das Vergleichsbeispiel, nur daß bei diesem ein Magnetfeld von 2 (kOe) angelegt wurde. Die Versuchsergebnisse sind in Fig. 21 dargestellt.

Wie aus Fig. 21 entnehmbar ist, erfordert das Vergleichsbeispiel eine Schichtdicke für PtMn-Legierung von mindestens 200 Angström, ansonsten kann kein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr erreicht werden.

Bei der Ausführungsform hingegen läßt sich ein solches Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr auch dann erreichen, wenn die Schicht aus der PtMn-Legierung mit einer Dicke von 100 Angström oder mehr ausgebildet wird. Deshalb liegt erfindungsgemäß der Bereich der Schichtdicke der antiferromagnetischen Schicht zwischen 100 und 200 Angström. Die Ausführungsform kann ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) auch bei Verwendung der PtMn-Legierung mit einer Dicke von 110 Angström oder mehr erreichen. Deshalb liegt ein besonders bevorzugter Bereich für die Schichtdicke der antiferromagnetischen Schicht bei 110 bis 200 Angström.

Fig. 22 ist eine grafische Darstellung der Beziehung zwischen der Schichtdicke der PtMn-Legierung und dem ΔMR-Wert. Wie aus Fig. 22 hervorgeht, ermöglicht bei dem Vergleichsbeispiel eine Schicht aus PtMn-Legierung mit einer Dicke von 200 Angström oder darüber die Erzielung eines ΔMR-Werts von 10% oder mehr, bei der Ausführungsform jedoch läßt sich ein ΔMR-Wert in der Nähe derjenigen bekannter Elemente auch dann erreichen, wenn die Dicke der PtMn-Legierung verringert wird auf etwa 100 Angström.

Von den Schichten, die das als Schichtaufbau ausgebildete Magnetowiderstandselement bilden, ist die dickste Schicht die antiferromagnetische Schicht. Erfindungsgemäß wird, wenn die Dicke der antiferromagnetischen Schicht verringert wird, gemäß Fig. 20 und 21 ein starkes Austausch-Koppelmagnetfeld sogar dann erreicht, wenn die antiferromagnetische Schicht weniger als halb so dick ist wie bei bekannten Magnetowiderstandselementen. Hieraus folgt, daß erfindungsgemäß auch die Dicke des Gesamt-Magnetowiderstandselements verringert werden kann, und wie aus Fig. 13 hervorgeht, läßt sich die Spalt-Länge-G1 auch dann verringern, wenn die Spalt-Schicht 121 und die Spalt-Schicht 125 oberhalb und unterhalb des Magnetowiderstandselements 122 dick genug gemacht sind, um eine ausreichende Isolierung zu garantieren. Man kann also einen sehr schmalen Spalt ausbilden.

Als nächstes wurde ein Magnetowiderstandselement gemäß der Erfindung hergestellt, bei dem die freie Magnetschicht in eine erste und eine zweite freie Magnetschicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Schicht aufgeteilt wurde, und es wurde die Beziehung zwischen dem Dickenverhältnis der ersten und der zweiten freien Magnetschicht einerseits und dem Austausch-Koppelmagnetfeld andererseits gemessen. Als erstes wurde die Schichtdicke der ersten freien Magnetschicht (der freien Magnetschicht auf der Seite, die mit der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht

in Berührung gelangt und direkten Beitrag zu dem  $\Delta$ MR-Wert leistet) auf 50 Angström festgelegt, und die Schichtdicke der zweiten freien Magnetschicht (die Magnetschicht auf der Seite, die keinen direkten Beitrag zu dem  $\Delta$ MR-Wert leistet) war variabel.

Der Schichtaufbau lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid/Ta (30)/zweite freie Magnetschicht (F2) aus NiFe (X)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (8)/erste freie Magnetschicht (F1) aus NiFe (40) + Co (10)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Cu (20)/Ru (8)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (150)/Ta (30). Die Zahlenangaben in den Klammern bedeuten die jeweiligen Schichtdicken in Angström.

Das Magnetowiderstandselement wurde vier Stunden lang einer Wärmebehandlung bei 260°C bei gleichzeitigem Anlegen eines Magnetfelds von 200 (Oe) unterzogen.

Wie in Fig. 23 gezeigt ist, erhöht sich das Austausch-Koppelmagnetfeld, wenn die Dicke der zweiten freien Magnetschicht (F2) auf etwa 40 Angström zunimmt. Man kann auch sehen, daß das Austausch-Koppelmagnetfeld allmählich schwächer wird, wenn die Dicke der zweiten freien Magnetschicht (F2) auf etwa 60 Angström und mehr zunimmt.

Das Austausch-Koppelmagnetfeld wurde bis zu einem nicht mehr meßbaren Wert rapide kleiner, als die Dicke der zweiten freien Magnetschicht (F2) im Bereich von 40 bis 60 Angström lag. Der Grund dafür ist, daß die Dicke der ersten freien Magnetschicht (F1) (= 50 Angström) und die Dicke der zweiten freien Magnetschicht annähernd den gleichen Wert hatten, demzufolge die magnetischen Momente der ersten und der zweiten freien Magnetschicht (F1) und (F2) etwa gleich groß waren, und sowohl die Magnetisierung der ersten als auch diejenige der zweiten freien Magnetschicht versuchte, in die gleiche Richtung zu weisen, nämlich der Richtung, in der das Magnetfeld angelegt wurde. Wenn die magnetischen Momente verschieden voneinander sind, wird zwischen der ersten freien Magnetschicht (F1) und der zweiten freien Magnetschicht (F2) ein Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung) erzeugt, so daß die Magnetisierung der ersten freien Magnetschicht (F1) und diejenige der zweiten freien Magnetschicht (F2) versuchen, einen antiparallelen Zustand einzunehmen. In dem oben geschilderten Fall jedoch wiesen die Magnetisierungen der ersten und der zweiten freien Magnetschicht (F1 und F2) in die gleiche Richtung, so daß der Magnetisierungszustand zwischen der ersten und der zweiten freien Magnetschicht (F1 und F2) instabil wurde, und wie weitere unten noch erläutert werden wird, kann dann der relative Winkel zwischen der schwankenden Magnetisierung der zweiten freien Magnetschicht (F2) und der festgelegten Magnetisierung der fixierten Magnetschicht (der ersten fixierten Magnetschicht) nicht gesteuert werden, so daß der  $\Delta$ MR-Wert rapide sinkt.

Da nun erfindungsgemäß ein Bereich angestrebt wird, bei dem das Austausch-Koppelmagnetfeld einen Wert von 500 (Oe) oder mehr hat, läßt sich anhand der Fig. 23 erkennen, daß der Wert (Schichtdicke der ersten freien Magnetschicht (F1))/(Dicke der zweiten freien Magnetschicht (F2)) in einem Bereich von 0,56 bis 0,83 oder von 1,25 bis 5 die Möglichkeit bietet, ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder darüber zu erreichen.

Besonders bevorzugt wird der Wert (Dicke der ersten freien Magnetschicht (F1))/Dicke der zweiten freien Magnetschicht (F2)) in einem Bereich von 0,61 bis 0,83 oder 1,25 bis 2,1 eingestellt, um ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder mehr zu erhalten.

Als nächstes wird bei einem erfindungsgemäßen Magnetowiderstandselement die freie Magnetschicht aufgeteilt in eine erste und eine zweite freie Magnetschicht, zwischen denen sich eine nichtmagnetische Zwischenschicht befindet. Bei diesem Element wurde die Beziehung zwischen dem Dickenverhältnis von erster und zweiter freier Magnetschicht einerseits und dem  $\Delta$ MR-Wert andererseits gemessen. Als erstes wurde die Schichtdicke der zweiten freien Magnetschicht (der Magnetschicht auf der Seite, die keinen direkten Beitrag zu dem  $\Delta$ MR-Wert leistet) auf 20 Angström festgelegt, während die Schichtdicke der ersten freien Magnetschicht (der Schicht auf der Seite in Berührung mit der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht, die einen direkten Beitrag zu dem  $\Delta$ MR-Wert leistet) variabel war.

Der Schichtaufbau lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid/Ta (30)/zweite freie Magnetschicht aus NiFe (20)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (8)/erste freie Magnetschicht aus NiFe (X) + Co (10)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Cu (20)/erste fixierte Magnetschicht aus Co (25)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (8)/zweite fixierte Magnetschicht aus Co (20)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (15)/Ta (30). Die Zahlenangaben in den Klammern bedeuten die Schichtdicken in Angström.

Erfindungsgemäß wurde nun dieses Magnetowiderstandselement vier Stunden lang einer Wärmebehandlung bei 260°C unterzogen, während gleichzeitig ein Magnetfelds von 200 (Oe) angelegt wurde.

Wie sich aus dem oben erläuterten Schichtaufbau ergibt, bestand die erste freie Magnetschicht aus zwei Schichten, und es wurde die Dicke der NiFe-Schicht geändert. Die Ergebnisse des Versuchs sind in Fig. 24 dargestellt, wobei auf der Abszisse die gesamte Dicke der ersten freien Magnetschicht aufgetragen ist, erhalten durch Addieren der Dicke der NiFe-Schicht und der Dicke der Co-Schicht (= 10 Angström).

Wie in Fig. 24 zu sehen ist, fällt der  $\Delta$ MR-Wert rapide ab, wenn sich die Dicke der ersten freien Magnetschicht (F1) dem Wert von 20 Angström nähert, also etwa so dick ist wie die zweite freie Magnetschicht (F2). Außerdem geht aus Fig. 24 hervor, daß dann, wenn die Dicke der ersten freien Magnetschicht (F1) einen Wert von 30 Angström oder darüber erreicht, der  $\Delta$ MR-Wert zunimmt, man also einen  $\Delta$ MR-Wert erreichen kann, der demjenigen bekannter Magnetowiderstandselemente (Einzel-Magnetowiderstandselemente) entspricht.

Wie aus Fig. 24 entnehmbar ist, läßt sich für einen Bereich des Werts (Dicke der ersten freien Magnetschicht (F1))/Dicke der zweiten freien Magnetschicht (F2)) ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr erreichen, wie dies in Fig. 23 dargestellt ist, und man kann einen hohen  $\Delta$ MR-Wert dadurch erreichen, daß man den Bereich des Werts (Dicke der ersten freien Magnetschicht (F1))/Dicke der zweiten freien Magnetschicht (F2)) auf Werte zwischen 1,25 und 5 einstellt.

Als nächstes wurde im Rahmen der Erfindung die Dicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht zwischen der ersten und der zweiten freien Magnetschicht geändert, und es wurde die Beziehung zwischen der Dicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht und dem Austausch-Koppelmagnetfeld gemessen.

Der Schichtaufbau für dieses Doppel-Magnetowiderstandselement lautet von unten nach oben: Si-Substrat/Aluminiumoxid/Ta (30)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (150)/Ru (6)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Cu (20)/erste freie Magnetschicht aus Co (10) + NiFe (50)/nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru (X)/erste freie Ma-



gnetschicht aus NiFe (30) + Co (10)/nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht aus Cu (20)/Ru (8)/antiferromagnetische Schicht aus PtMn (150)/Ta (30). Die Zahlenangaben in den Klammern bedeuten die Schichtdicken in Angström.

Erfindungsgemäß wurde dieses Magnetowiderstandselement vier Stunden lang einer Wärmebehandlung bei 260°C unterzogen, während ein Magnetfelds von 200 (Oe) angelegt wurde. Die Versuchsergebnisse sind in Fig. 20 gezeigt.

Wie in Fig. 20 zu sehen ist, sollte die Ru-Schicht mit einer Dicke im Bereich von 5,5 bis 10,0 Angström ausgebildet werden, um ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder darüber zu erhalten. Es läßt sich erkennen, daß die Ru-Schicht vorzugsweise mit einer Dicke im Bereich von 5,9 bis 9,4 Angström ausgebildet werden sollte, wenn man ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 1000 (Oe) oder mehr erreichen will.

Erfindungsgemäß läßt sich der Magnetisierungszustand der fixierten magnetischen Schicht in einem äußerst stabilen Zustand halten, wenn man die fixierte Magnetschicht aufteilt in eine erste und eine zweite fixierte Magnetschicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Schicht, und wenn man dann die Magnetisierung der ersten und die Magnetisierung der zweiten fixierten Magnetschicht mit Hilfe des Austausch-Koppelmagnetfelds (RKKY-Wechselwirkung), das zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht gebildet wird, in einen antiparallelen Zustand bringt.

Erfindungsgemäß läßt sich ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder sogar von 1000 (Oe) oder mehr erreichen, wenn man das Dickenverhältnis zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht und auch deren Schichtdicke selbst in passender Weise einstellt. Erfindungsgemäß wird die zwischen erster und zweiter fixierter Magnetschicht liegende nichtmagnetische Zwischenschicht aus Ru, Rh, Ir, Cr, Re, Cu oder dgl. gebildet, außerdem wird die Dicke der Zwischenschicht auf einen geeigneten Wert sowohl für den Fall eingestellt, daß die nichtmagnetische Zwischenschicht oberhalb der freien magnetischen Schicht ausgebildet ist, als auch für den Fall, daß die Zwischenschicht unterhalb der freien Magnetschicht gebildet ist, um dadurch ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr, ja sogar von 1000 (Oe) oder mehr zu erhalten.

Erfindungsgemäß wird eine PtMn-Legierung für die antiferromagnetische Schicht verwendet, da PtMn-Legierungen eine hohe Sperrtemperatur aufweisen, das Austausch-Koppelmagnetfeld (das anisotrope Austauschmagnetfeld) welches an der Grenzfläche zwischen der antiferromagnetischen Schicht und der fixierten Magnetschicht (der ersten fixierten Magnetschicht) groß ist, und die Korrosionsbeständigkeit dieser Legierungen hervorragend sind. Anstelle dieser Legierung kann man auch X-Mn-Legierungen (X ist mindestens eines der Elemente Pd, Ir, Rh, Ru, Os) oder PtMn-X'-Legierungen (X' ist mindestens eines der Elemente Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Au, Ag) verwenden.

Wenn erfindungsgemäß die fixierte Magnetschicht in eine erste und eine zweite fixierte Magnetschicht aufgeteilt wird, kann man ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500, ja sogar vorzugsweise von 1000 (Oe) oder mehr auch dann erhalten, wenn die Dicke der antiferromagnetischen Schicht nur etwa halb so viel beträgt wie bei bekannten Bauelementen.

Erfindungsgemäß ist es außerdem bevorzugt, wenn wie bei der fixierten Magnetschicht auch die freie Magnetschicht aufgeteilt ist und eine erste und eine zweite freie magnetische Schicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Schicht enthält. Ein Austausch-Koppelmagnetfeld (RKKY-Wechselwirkung) wird zwischen der ersten und der zweiten freien Magnetschicht erzeugt, wobei die Magnetisierung der ersten und diejenige der zweiten freien Magnetschicht antiparallel ausgebildet ist, so daß sie mit hoher Empfindlichkeit gegenüber äußeren Magnetfeldern umgekehrt wird.

Die Ausbildung des Schichtdickenverhältnisses von erster und zweiter freier Magnetschicht in einem passenden Bereich und außerdem das Einfügen einer nichtmagnetischen Zwischenschicht zwischen die erste und die zweite freie Magnetschicht in Form eines Ru-Films oder dgl., und weiterhin die Einstellung der Dicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht in einem geeigneten Bereich schaffen die Möglichkeiten, Austausch-Koppelmagnetfelder von 500 (Oe), ja sogar von 1000 (Oe) oder mehr zu erreichen.

Erfindungsgemäß wird bei Verwendung einer Wärmebehandlung erfordernden antiferromagnetischen Schicht an der Grenzfläche bezüglich der ersten fixierten Magnetschicht eine geeignete Einstellung des Betrags des magnetischen Moments der ersten fixierten Magnetschicht und des magnetischen Moments der zweiten fixierten Magnetschicht vorgenommen, außerdem werden Betrag und Richtung des Magnetfelds bei der Wärmebehandlung passend eingestellt, so daß die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht in die gewünschte Richtung weist, wobei außerdem die passende Steuerung der Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht sowie der Magnetisierung der zweiten fixierten Magnetschicht einen antiparallelen Magnetisierungszustand ermöglicht.

Die Anpassung der Richtung des Lesestrom-Magnetfelds, welches durch den fließenden Lesestrom entsteht, an die Richtung des zusammengesetzten magnetischen Moments, welches sich durch Addieren der magnetischen Momente der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht ergibt, ermöglicht die Erzielung eines thermisch stabileren Magnetisierungszustands für die erste und die zweite fixierte Magnetschicht.

Diese Steuerung der Lesestrom-Richtung läßt sich in jedem Fall anwenden, egal, welches antiferromagnetische Material für die Schicht eingesetzt wird, und unabhängig davon, ob eine Wärmebehandlung zum Erzeugen des Austausch-Koppelmagnetfelds an der Grenzfläche zwischen der antiferromagnetischen Schicht und der fixierten magnetischen Schicht (der ersten fixierten magnetischen Schicht) notwendig ist oder nicht.

Die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht läßt sich dann thermisch stabilisieren, wenn ein bekanntes Einzel-Magnetowiderstandselement vorliegt, bei der die fixierte magnetische Schicht als Einzelschicht ausgebildet ist, indem man die Richtung des Lesestrom-Magnetfelds durch entsprechende Stromflußrichtung anpaßt an die Richtung der Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht.

Außerdem wird gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung der Magnetisierungszustand der fixierten magnetischen Schicht in einem äußerst stabilen Zustand gehalten, indem man die fixierte Magnetschicht aufteilt in eine erste und eine zweite fixierte Magnetschicht mit eingefügter nichtmagnetischer Zwischenschicht, wobei die Magnetisierung der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht mit Hilfe des Austausch-Koppelmagnetfelds (RKKY-Wechselwirkung) zwischen der ersten und der zweiten Magnetschicht in einen antiparallelen Zustand gebracht wird.

Außerdem ermöglicht die Erfindung durch Anpassen der Richtung des von dem Lesestrom erzeugten Lesestrom-Magnetfelds an die Richtung des zusammengesetzten magnetischen Moments, welches durch Addieren der magnetischen Momente der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht gebildet wird, den Magnetisierungszustand der ersten und der zweiten magnetischen Schicht thermisch noch stabiler einzustellen.

Diese Steuerung der Lesestromrichtung bei jeglichem Material der antiferromagnetischen Schicht erfolgen, unabhängig davon, ob zur Erzeugung eines Austausch-Koppelmagnetfelds an der Grenzfläche zwischen der antiferromagnetischen Schicht und der fixierten magnetischen Schicht (der ersten fixierten magnetischen Schicht) eine Wärmebehandlung erforderlich ist oder nicht.

Die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht läßt sich auch dann thermisch stabilisieren, wenn es sich um ein bekanntes Einzel-Magnetowiderstandselement, bei dem die fixierte Magnetschicht als Einzelschicht ausgebildet ist, handelt, indem man durch entsprechende Einstellung der Stromrichtung das Lesestrom-Magnetfeld anpaßt auf die Richtung der Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht.

Außerdem kann erfindungsgemäß durch Einstellung des Schichtdickenverhältnisses und der Dicke der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf Werte innerhalb geeigneter Bereiche ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr, sogar von 1000 (Oe) erhalten werden.

Erfindungsgemäß wird die zwischen der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht befindlichen nichtmagnetischen Zwischenschicht aus Ro, Rh, Ir, Cr, Re, Cu oder dergleichen gebildet, wobei die Dicke dieser nichtmagnetischen Zwischenschicht auf einen geeigneten Wert eingestellt wird, und zwar sowohl in dem Fall, daß die nichtmagnetische Zwischenschicht oberhalb der freien Magnetschicht gebildet ist, als auch dann, wenn sie unterhalb der freien Magnetschicht gebildet ist, und auf diese Weise wird ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder sogar von 1000 (Oe) oder mehr gewonnen.

Erfindungsgemäß wird für die antiferromagnetische Schicht eine PtMn-Legierung verwendet, da solche Legierungen eine hohe Sperrtemperatur aufweisen, das an der Grenzfläche zwischen der antiferromagnetischen Schicht und der fixierten (ersten) Magnetschicht erzeugte Austausch-Koppelmagnetfeld (das anisotrope Austausch-Koppelmagnetfeld) stark ist, und außerdem die Korrosionsbeständigkeit hervorragend ist. Statt der genannten PtMn-Legierungen können auch X-Mn-Legierungen (X ist mindestens eines der Elemente Pd, Ir, Rh, Ru, Os) oder PtMn-X'-Legierungen (X' ist mindestens eines der Elemente Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Au, Ag) verwendet werden. Wenn erfindungsgemäß die fixierte Magnetschicht aufgeteilt ist in eine erste und eine zweite fixierte Magnetschicht, läßt sich ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe), ja sogar ein Feld von 1000 (Oe) oder stärker auch dann erhalten, wenn die Dicke der antiferromagnetischen Schicht nur halb so groß ist wie bei bekannten Bauelementen.

Erfindungsgemäß wird außerdem bevorzugt, wenn die freie Magnetschicht ebenso wie die fixierte Magnetschicht in eine erste und eine zweite freie Magnetschicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht aufgeteilt ist. Zwischen der ersten freien und der zweiten freien Magnetschicht wird ein Austausch-Koppelmagnetfeld erreicht, wobei die Magnetisierung der ersten und diejenige der zweiten freien Magnetschicht antiparallel ist, so daß sie sich mit guter Empfindlichkeit bzgl. äußerer Magnetfelder umkehrt.

Die Ausbildung des Schichtdickenverhältnisses von erster und zweiter freier Magnetschicht in einem geeigneten Bereich, die Ausbildung einer nichtmagnetischen Zwischenschicht zwischen der ersten und der zweiten freien magnetischen Schicht in Form eines Ru-Films oder dergleichen, und weiterhin die Ausbildung der Dicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht in einem geeigneten Bereich ermöglicht die Erzielung eines starken Austausch-Koppelmagnetfelds von 500, bevorzugt von 1000 (Oe) oder mehr.

Erfindungsgemäß wird in den Fällen, in denen eine antiferromagnetische Schicht eine Wärmebehandlung an der Grenzfläche bzgl. der ersten fixierten magnetischen Schicht erfordert, der Betrag der magnetischen Momente der ersten und des magnetischen Moments der zweiten fixierten Magnetschicht in geeigneter Weise eingestellt und außerdem werden Betrag und Richtung des während der Wärmebehandlung angelegten Magnetfelds passend eingestellt, wodurch es möglich ist, daß die Magnetisierung der ersten fixierten Magnetschicht in die gewünschte Richtung orientiert ist, und außerdem die Möglichkeit besteht, die Magnetisierung der ersten und der zweiten magnetischen Schicht so zu steuern, daß die beiden Magnetisierungsrichtungen einen antiparallelen Zustand einnehmen.

Gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung befindet sich die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht in einem äußerst stabilen Zustand, in dem sie in eine erste und eine zweite fixierte Magnetschicht mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht aufgeteilt ist und die Magnetisierung der ersten und der zweiten fixierten Schicht einen antiparallelen Zustand bildet aufgrund des Austausch-Koppelfelds, welches zwischen der ersten und der zweiten Magnetschicht erzeugt wird.

Insbesondere dann, wenn erfindungsgemäß für die antiferromagnetische Schicht ein Material verwendet wird, welches eine Wärmebehandlung an der Grenzfläche bzgl. der ersten fixierten Magnetschicht erfordert, läßt sich durch passende Einstellung des Betrags des magnetischen Moments der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht und durch passende Einstellung von Betrag und Richtung des während der Wärmebehandlung angelegten Magnetfelds eine geeignete Einstellung der Magnetisierung der ersten und der zweiten freien Magnetschicht in antiparalleler Weise erreichen. Außerdem wird ermöglicht, daß die Magnetisierung der ersten und der zweiten magnetischen Schicht die gewünschte Orientierung aufweisen.

Für die antiferromagnetische Schicht wird ein Material verwendet, welches eine Wärmebehandlung erforderlich macht, um ein Austausch-Koppelmagnetfeld an der Grenzfläche zwischen der antiferromagnetischen Schicht und der ersten fixierten magnetischen Schicht zu erzeugen, und die hierzu eingesetzten PtMn-Legierungen besitzen eine hohe Sperrtemperatur, weshalb das Koppelmagnetfeld an der Grenzfläche zwischen der antiferromagnetischen und der fixierten magnetischen Schicht (der ersten magnetischen Schicht) stark ist. Außerdem ist die Korrosionsbeständigkeit dieser Legierungen hervorragend. Anstelle der PtMn-Legierungen können auch X-Mn-Legierungen (X ist mindestens eines der Elemente Pd, Ir, Rh, Ru, Os) oder PtMn-X'-Legierungen (X' ist mindestens eines der Elemente Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Au, Ag) verwendet werden.

Die Einstellung des Schichtdickenverhältnisses sowie der Dicke der ersten und der zweiten fixierten Magnetschicht selbst auf Werte in geeigneten Bereichen ermöglicht die Erzielung eines starken Austausch-Koppelmagnetfelds von 500 (Oe) oder gar 1000 (Oe) oder mehr.

Die nichtmagnetische Zwischenschicht zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht besteht aus Ru, Rh, Ir, Cr, Re, Cu oder dergleichen, außerdem ist die Dicke der Zwischenschicht in geeigneter Weise eingestellt,

unabhängig davon, ob sie oberhalb oder unterhalb der freien Magnetschicht ausgebildet ist, um dadurch ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 oder von 1000 (Oe) oder mehr zu erhalten.

Wenn die fixierte Magnetschicht in einer ersten und einer zweiten fixierten Magnetschicht aufgeteilt ist, läßt sich ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 oder mehr, sogar 1000 (Oe) oder darüber auch dann erzielen, wenn die Dicke der antiferromagnetischen Schicht nur etwa halb so groß ist wie bei bekannten Elementen.

Bevorzugt wird erfindungsgemäß außerdem, wenn die freie Magnetschicht ebenso wie die fixierte Magnetschicht aus einer ersten und einer zweiten freien Magnetschicht gebildet wird, zwischen denen sich eine nichtmagnetische Zwischenschicht befindet. Zwischen der ersten und der zweiten freien Magnetschicht wird (durch RKKY-Wechselwirkung) ein Austausch-Koppelmagnetfeld erzeugt, wobei die Magnetisierung der ersten und die Magnetisierung der zweiten freien Magnetschicht einen antiparallelen Zustand bilden, der mit hoher Empfindlichkeit bei äußeren Magnetfeldern umgekehrt wird.

Die Ausbildung des Schichtdickenverhältnisses der ersten und der zweiten freien Magnetschicht, die Ausbildung einer nichtmagnetischen Zwischenschicht zwischen der ersten und der zweiten freien Magnetschicht in Form eines Ru-Films oder dergleichen, und die Einstellung der Dicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht auf einen Wert in einem geeigneten Bereich liefert ein Austausch-Koppelmagnetfeld von 500 (Oe) oder mehr, sogar von 1000 (Oe) oder mehr.

Die Anpassung der Lesestromrichtung zum Erzeugen eines Lesestrom-Magnetfelds an die Richtung des zusammengesetzten magnetischen Moments aus dem magnetische Moment der ersten und demjenigen der zweiten fixierten Magnetschicht ermöglicht die Erzielung eines thermisch noch stabileren Magnetisierungszustands von erster und zweiter fixierter magnetischer Schicht.

Eine solche Steuerung des Lesestroms kann bei jedem antiferromagnetischen Material der antiferromagnetischen Schicht erfolgen, unabhängig davon, ob dabei eine Wärmebehandlung zum Erzeugen des Austausch-Koppelmagnetfelds an der Grenzfläche zwischen der antiferromagnetischen Schicht und der fixierten magnetischen Schicht erforderlich ist.

Die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht läßt sich auch dann thermisch stabilisieren, wenn ein Einzel-Magnetowiderstandselement vorliegt, bei dem die fixierte Magnetschicht als Einzelmagnetschicht ausgebildet ist, indem man die Richtung des Lesestrom-Magnetfelds an die Magnetisierungsrichtung der fixierten magnetischen Schicht anpaßt.

#### Patentansprüche

##### 1. Magnetowiderstands-Dünnschichtelement vom "Drehventil"-Typ, umfassend:

- eine antiferromagnetische Schicht;
- eine fixierte magnetische Schicht, die die antiferromagnetische Schicht kontaktiert, wobei ihre Magnetisierungsrichtung durch das Austausch-Kopplungsmagnetfeld zwischen der fixierten magnetischen Schicht und der antiferromagnetischen Schicht festgelegt wird; und
- eine nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht, die zwischen einer freien magnetischen Schicht und der fixierten magnetischen Schicht ausgebildet ist, und deren Magnetisierungsrichtung derart ausgerichtet ist, daß sie sich mit der Magnetisierungsrichtung der fixierten magnetischen Schicht schneidet, wobei der elektrische Widerstand, der sich nach Maßgabe der Beziehung zwischen der festgelegten Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht und der schwankenden Magnetisierung der freien magnetischen Schicht ändert, nachgewiesen wird mit Hilfe eines Lesestroms, der veranlaßt wird, in einer Richtung zu fließen, welche die festgelegte Magnetisierung der fixierten magnetischen Schicht schneidet; und
- wobei die fixierte magnetische Schicht aufgeteilt ist in zwei Schichten, nämlich eine erste fixierte magnetische Schicht, die die antiferromagnetische Schicht kontaktiert, und eine zweite fixierte magnetische Schicht, welche die nichtmagnetische, elektrisch leitende Schicht kontaktiert, wobei zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht eine nichtmagnetische Zwischenschicht liegt; und
- wobei der Lesestrom dazu gebracht wird, in einer solchen Richtung zu fließen, daß die Richtung des Lesestrom-Magnetfelds, welches an dem Bereich erste fixierte magnetische Schicht/nichtmagnetische Zwischenschicht/zweite fixierte magnetische Schicht durch den fließenden Lesestrom gebildet wird, die gleiche Richtung ist wie die Richtung eines zusammengesetzten magnetischen Moments, welches gebildet wird durch Addieren des magnetischen Moments der ersten fixierten magnetischen Schicht (mit der Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  und der Schichtdicke  $t$ ) auf das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht.

2. Dünnschichtelement nach Anspruch 1 in Form eines Einzel-Drehventil-Magnetowiderstands-Dünnschichtelements, bestehend aus jeweils nur einer antiferromagnetischen Schicht, einer ersten fixierten magnetischen Schicht, einer nichtmagnetischen Zwischenschicht, einer zweiten fixierten magnetischen Schicht, einer nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht und einer freien magnetischen Schicht; wobei für den Fall, daß das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht größer ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht, der Lesestrom dazu gebracht wird, in einer solchen Richtung zu fließen, daß die Richtung des durch den Lesestrom gebildeten Lesestrom-Magnetfelds im Bereich der ersten fixierten magnetischen Schicht/nichtmagnetischen Zwischenschicht/zweiten fixierten magnetischen Schicht die gleiche Richtung ist wie die Richtung des magnetischen Moments der ersten fixierten magnetischen Schicht.

3. Dünnschichtelement nach Anspruch 1 in Form eines Einzel-Drehventil-Dünnschichtelements, bestehend aus jeweils nur einer antiferromagnetischen Schicht, einer ersten fixierten magnetischen Schicht, einer nichtmagnetischen Zwischenschicht, einer zweiten fixierten magnetischen Schicht, einer nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht und einer freien magnetischen Schicht, wobei für den Fall, daß das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht kleiner ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht, der Lesestrom dazu gebracht wird, in einer solchen Richtung zu fließen, daß die Richtung des durch den fließenden Lesestrom erzeugten Lesestrom-Magnetfelds im Bereich der ersten fixierten magnetischen Schicht/der nichtmagnetischen Zwischenschicht/der zweiten fixierten magnetischen Schicht die gleiche Richtung ist wie die Richtung des

magnetischen Moments der zweiten fixierten magnetischen Schicht.

4. Dünnschichtelement nach Anspruch 2, bei dem die freie magnetische Schicht aufgeteilt ist in zwei Schichten mit einer dazwischenliegenden nichtmagnetischen Zwischenschicht.

5. Dünnschichtelement nach Anspruch 4, bei dem die nichtmagnetische Zwischenschicht zwischen den beiden abgeteilten freien magnetischen Schichten durch eines der folgenden Elemente oder durch eine Legierung aus mindestens zwei dieser Elemente gebildet ist: Ru, Rh, Ir, Cr, Re und Cu.

6. Dünnschichtelement nach Anspruch 1 in Form eines Doppel-Drehventil-Magnetowiderstandselements, umfassend:

nichtmagnetische, elektrisch leitende Schichten oberhalb und unterhalb der die Mitte bildenden freien magnetischen Schicht;

drei Schichten in Form der zweiten fixierten magnetischen Schicht/der nichtmagnetischen Zwischenschicht/der ersten fixierten magnetischen Schicht oberhalb einer der nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schichten und unterhalb der anderen nichtmagnetischen, elektrisch leitenden Schicht; und

antiferromagnetische Schichten oberhalb der einen ersten fixierten magnetischen Schicht und unterhalb der anderen ersten fixierten magnetischen Schicht;

wobei das zusammengesetzte magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht und der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht, und das zusammengesetzte magnetische Moment der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht in zueinander entgegengesetzte Richtungen weisen; und

wobei der Lesestrom veranlaßt wird, in einer solchen Richtung zu fließen, daß das durch den Lesestrom hervorgerufene Lesestrom-Magnetfeld im Bereich der ersten fixierten magnetischen Schicht/nichtmagnetischen Zwischenschicht/zweiten fixierten magnetischen Schicht die gleiche Richtung ist wie die Richtung des zusammengesetzten magnetischen Moments, welches oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht gebildet wird.

7. Dünnschichtelement nach Anspruch 6,

bei dem das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht größer ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht; und

wobei das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht kleiner ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht; und

wobei weiterhin die festgelegte Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schichten oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht in die gleiche Richtung weist.

8. Dünnschichtelement nach Anspruch 6,

bei dem das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht kleiner ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Oberseite der freien magnetischen Schicht; und

wobei das magnetische Moment der ersten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht größer ist als das magnetische Moment der zweiten fixierten magnetischen Schicht auf der Unterseite der freien magnetischen Schicht; und

wobei weiterhin die festgelegte Magnetisierung der ersten fixierten magnetischen Schichten oberhalb und unterhalb der freien magnetischen Schicht in die gleiche Richtung weist.

9. Dünnschichtbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die antiferromagnetische Schicht aus einer PtMn-Legierung gebildet ist.

10. Dünnschichtbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die antiferromagnetische Schicht aus einer X-Mn-Legierung gebildet ist (X ist mindestens eines der folgenden Elemente: Pd, Ir, Rh, Ru, Os).

11. Dünnschichtelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die antiferromagnetische Schicht aus einer Pt-Mn-X'-Legierung gebildet ist (wobei X' mindestens eines der folgenden Elemente ist: Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Au, Ag).

12. Dünnschichtelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die nichtmagnetische Zwischenschicht zwischen der ersten und der zweiten fixierten magnetischen Schicht aus einem der folgenden Elemente oder aus einer Legierung aus mindestens zwei dieser Elemente gebildet ist: Ru, Th, Ir, Cr, Re und Cu.

13. Dünnschicht-Magnetkopf mit Abschrimschichten oberhalb und unterhalb des Magnetowiderstands-Dünnschichtelements nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Spalt-Schichten dazwischen eingefügt sind.

14. Dünnschichtelement nach Anspruch 3, bei dem die freie magnetische Schicht in zwei Schichten aufgeteilt ist, wobei dazwischen eine nichtmagnetische Schicht liegt.

15. Dünnschichtelement nach Anspruch 14, bei dem die nichtmagnetische Zwischenschicht zwischen den zwei abgeteilten freien magnetischen Schichten aus einem folgender Elemente oder einer Legierung aus mindestens zwei dieser Elemente gebildet ist: Ru, Rh, Ir, Cr, Re und Cu.

16. Dünnschichtelement nach Anspruch 1, bei dem die freie magnetische Schicht in zwei Schichten aufgeteilt ist, zwischen denen sich eine nichtmagnetische Zwischenschicht befindet.

17. Dünnschichtelement nach Anspruch 16, bei dem die nichtmagnetische Zwischenschicht zwischen den zwei abgeteilten freien magnetischen Schichten eines folgender Elemente oder einer Legierung aus mindestens zwei dieser Elemente aufweist: Ru, Rh, Ir, Cr, Re und Cu.

---

Hierzu 22 Seite(n) Zeichnungen

---

FIG. 1

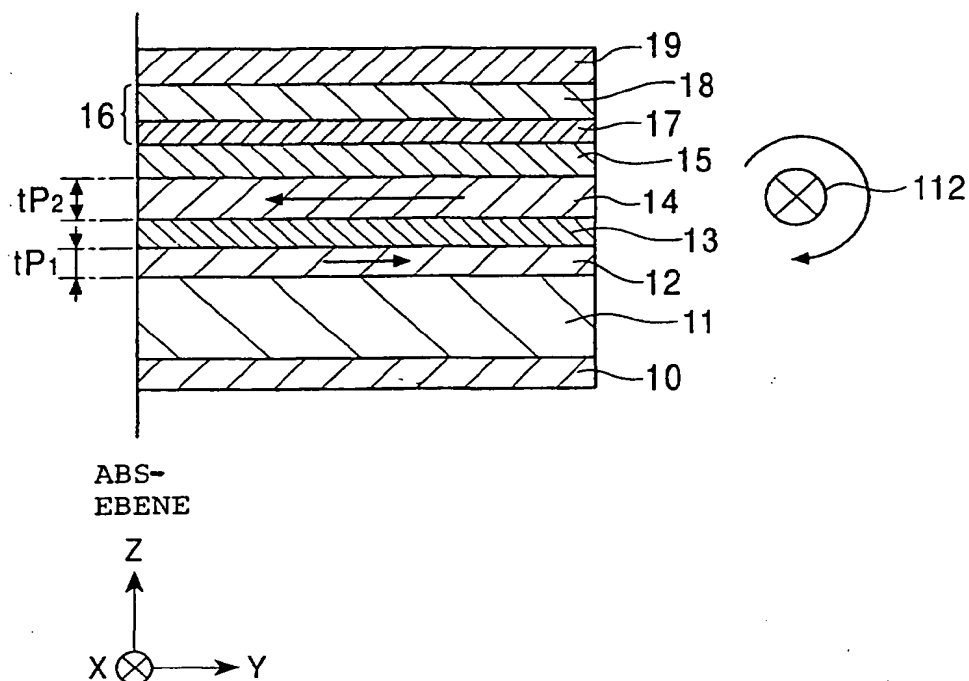


FIG. 2

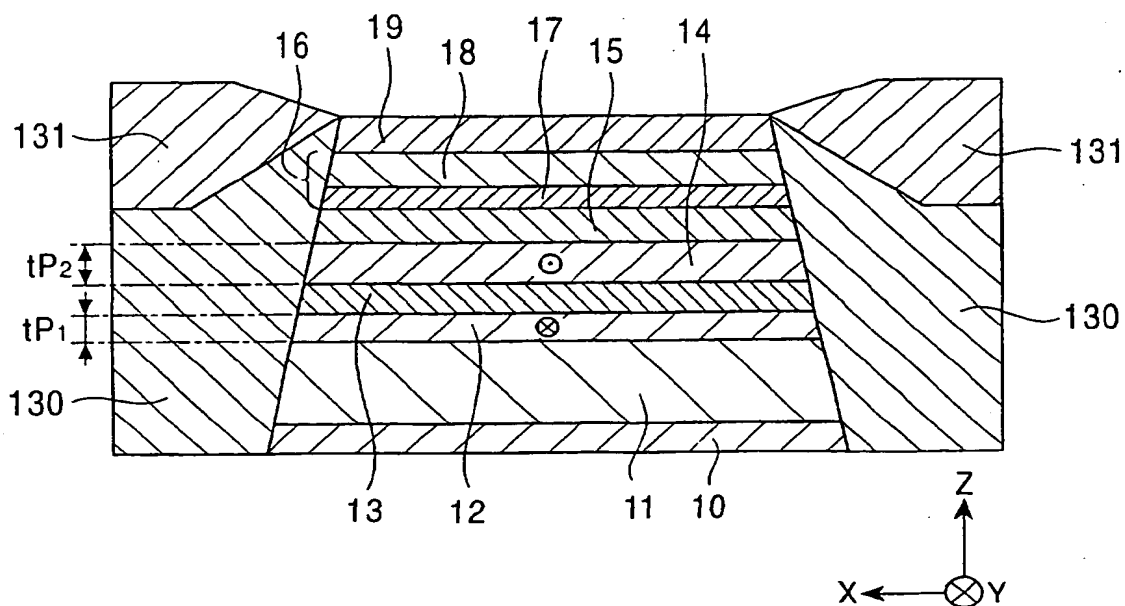


FIG. 3

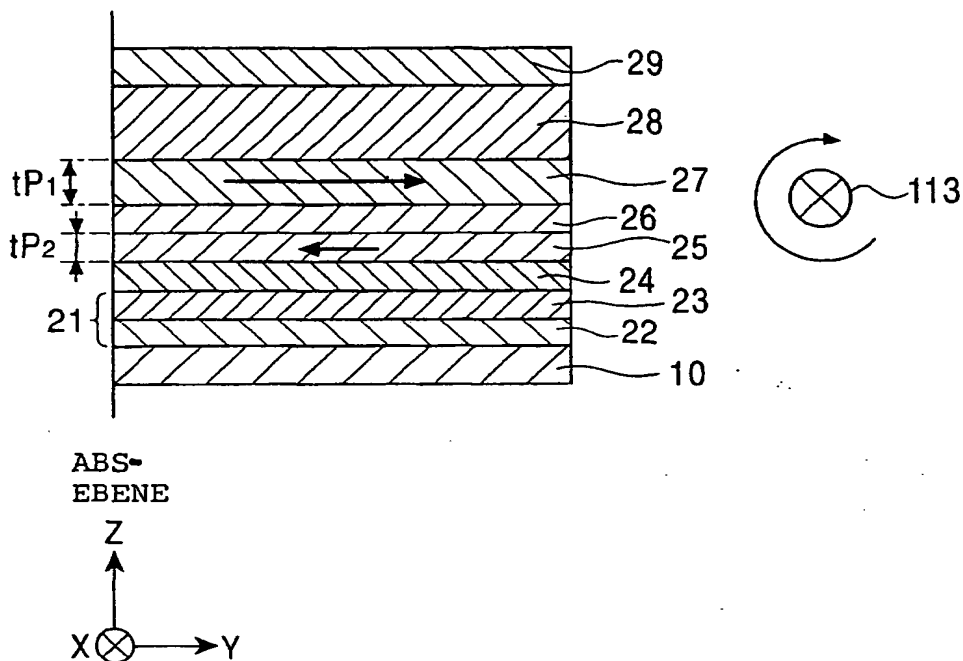


FIG. 4

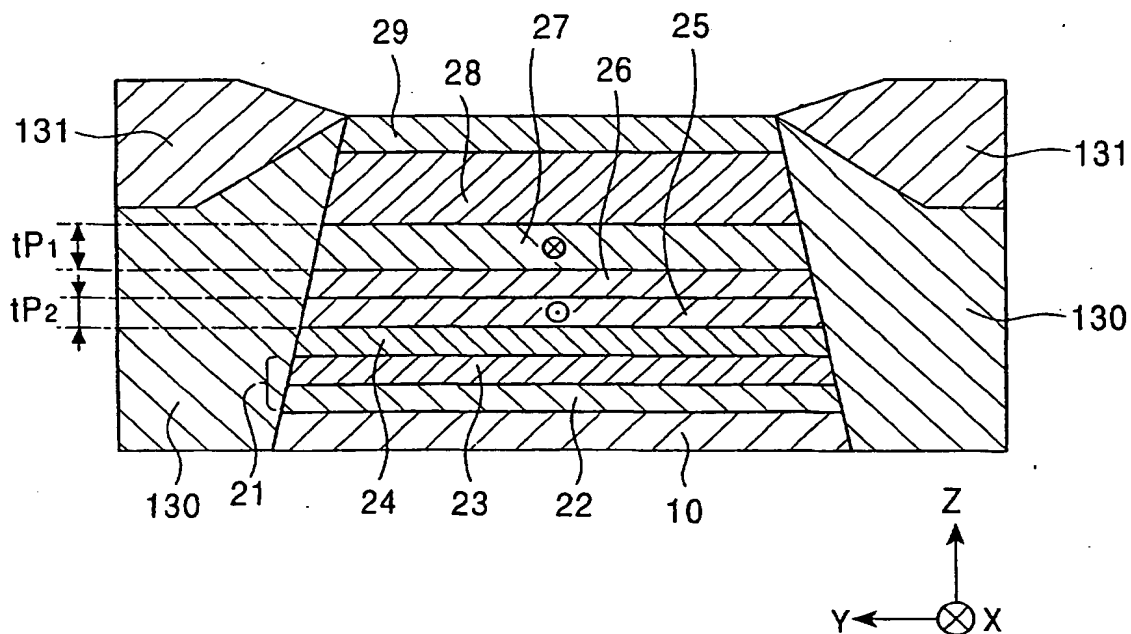




FIG. 5

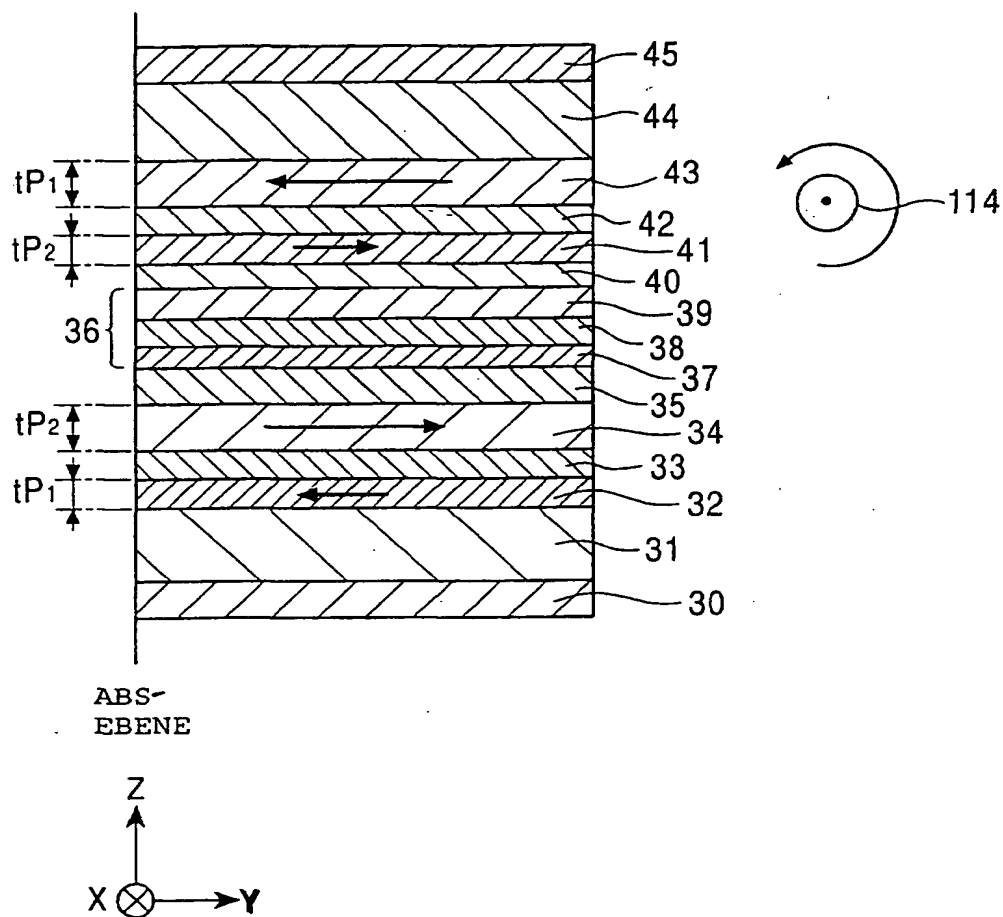


FIG. 6

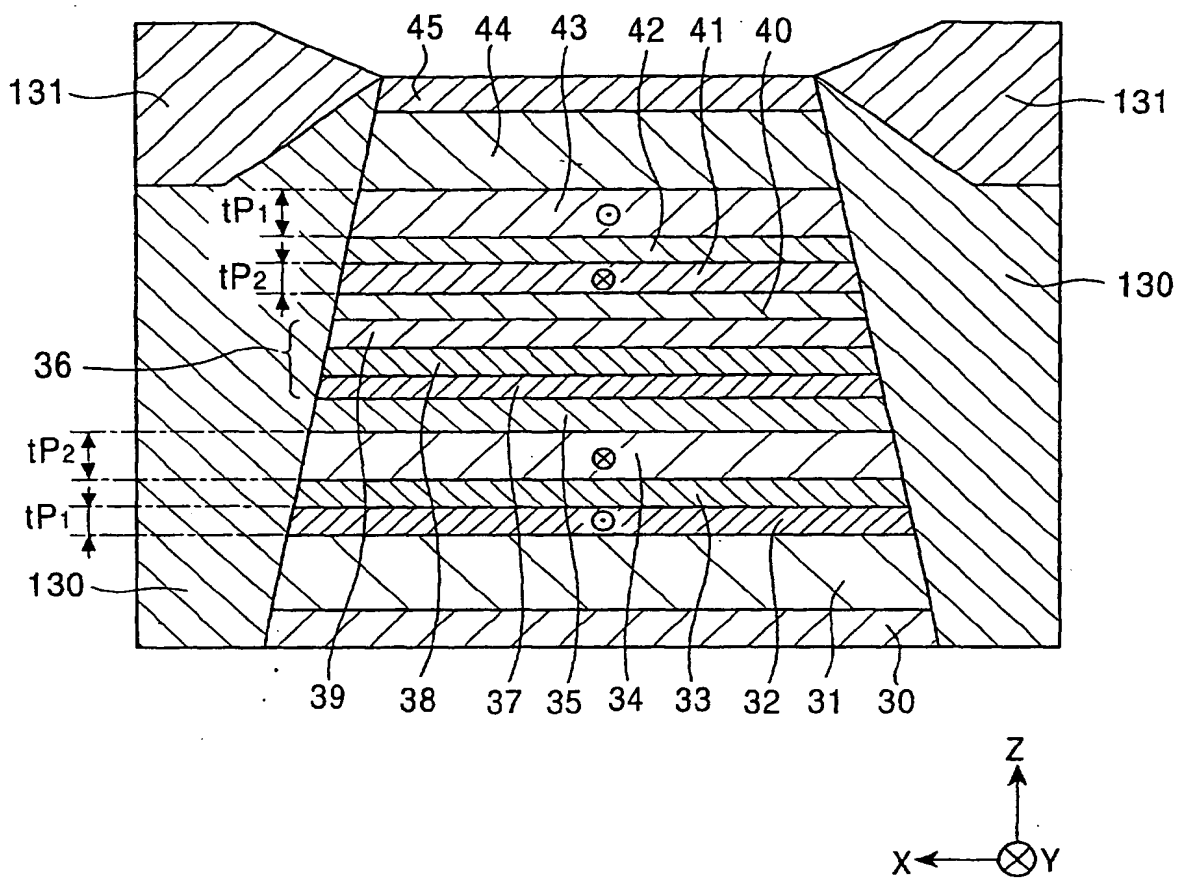


FIG. 7

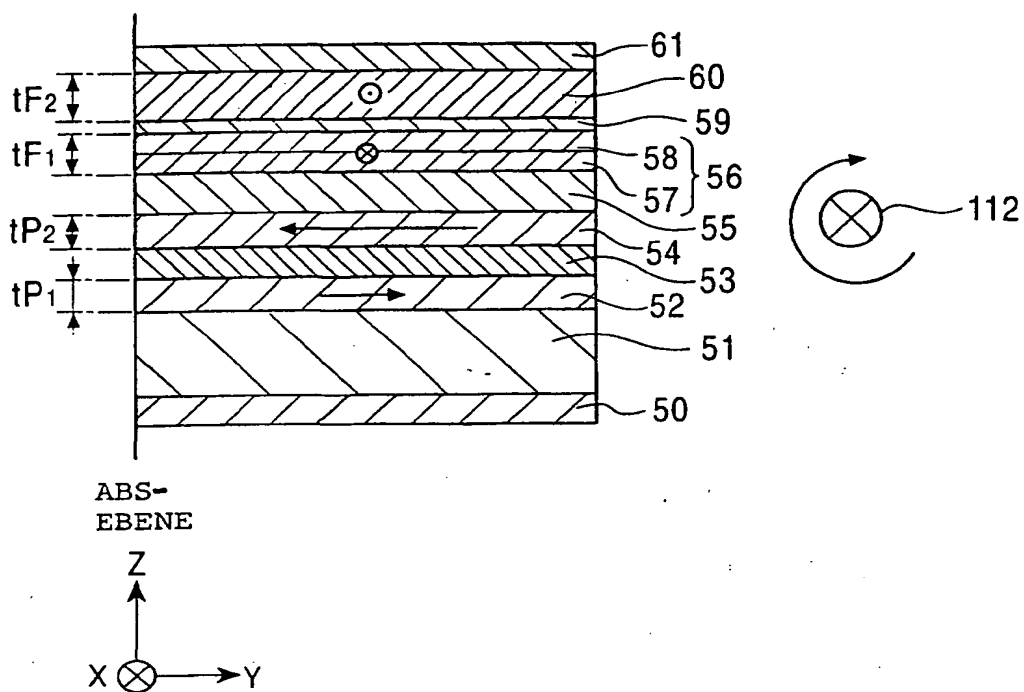


FIG. 8

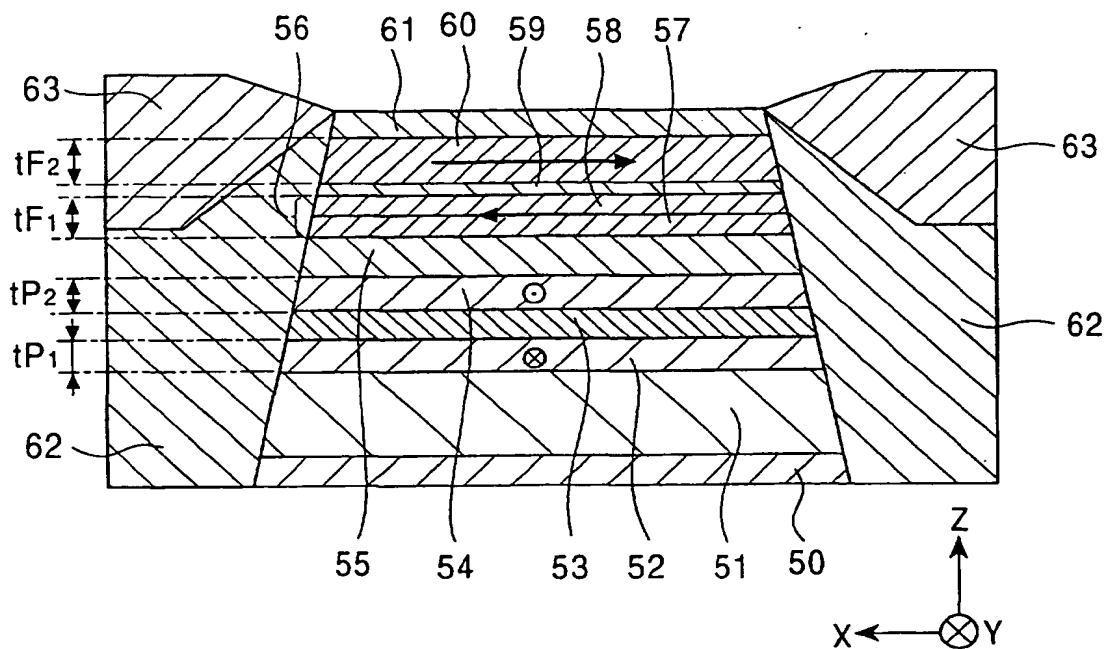


FIG. 9

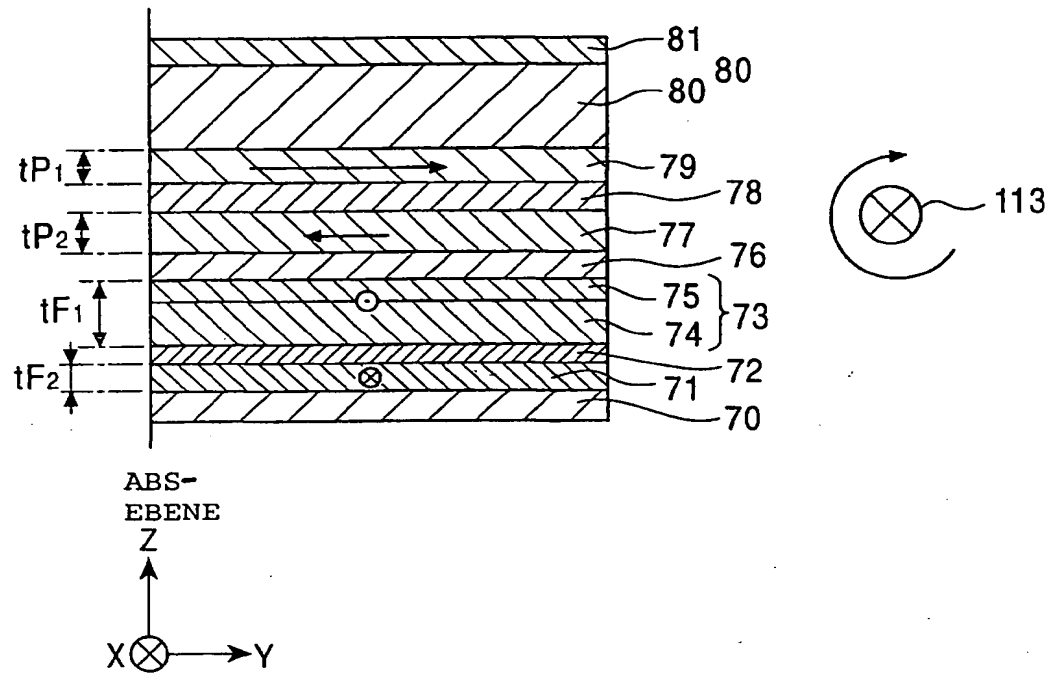


FIG. 10

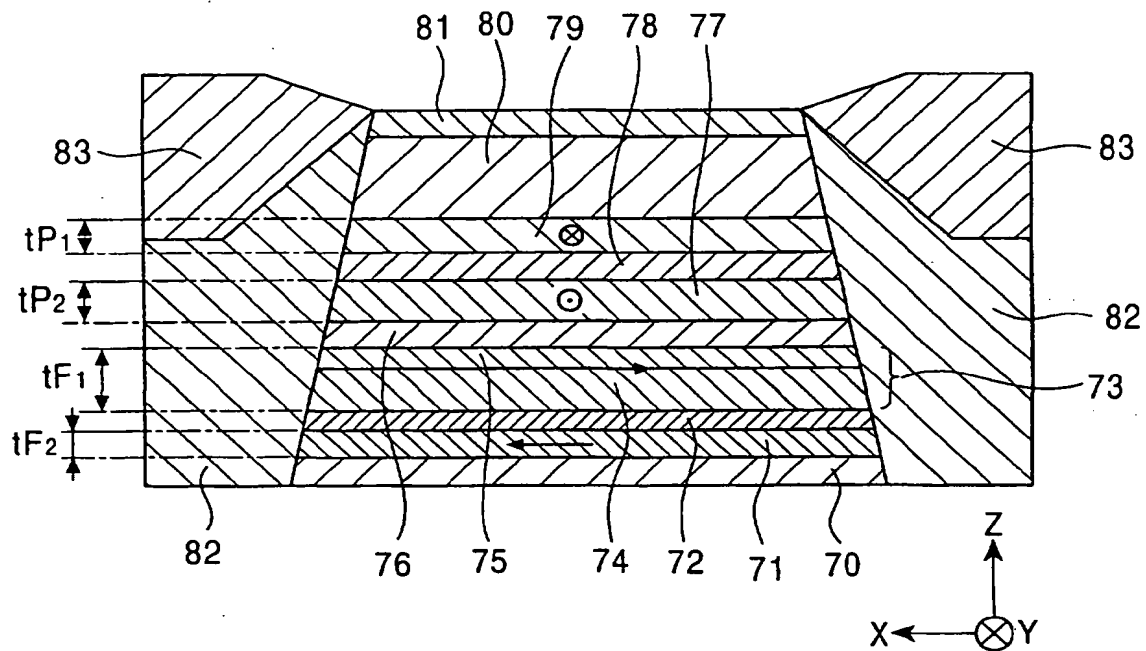


FIG. 11

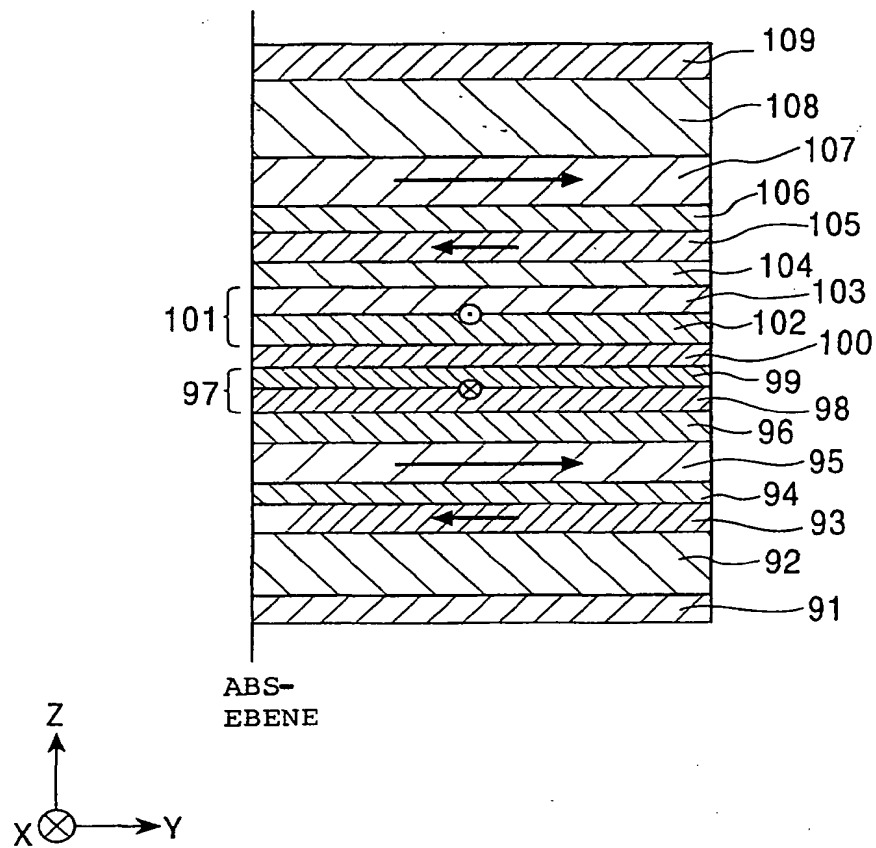


FIG. 12

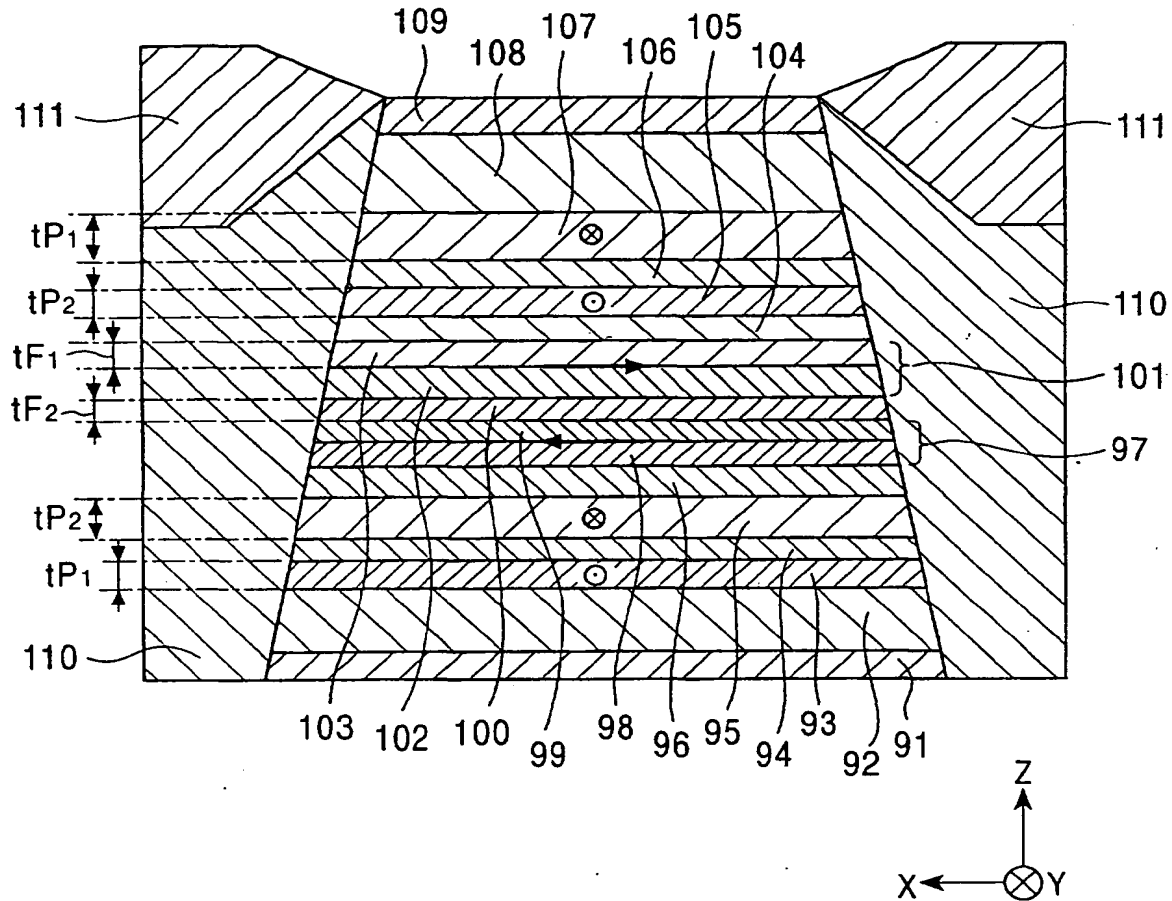


FIG. 13

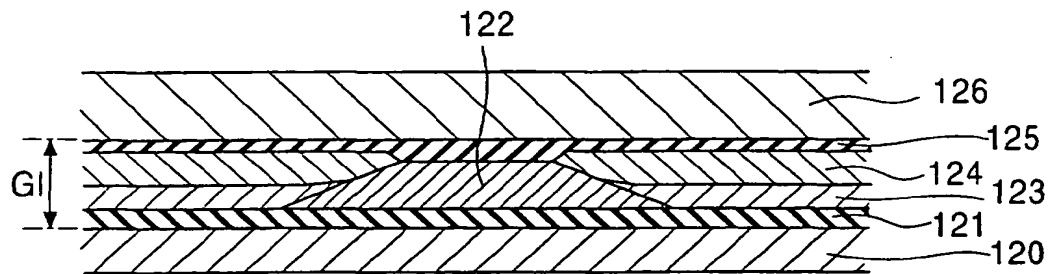




FIG. 14

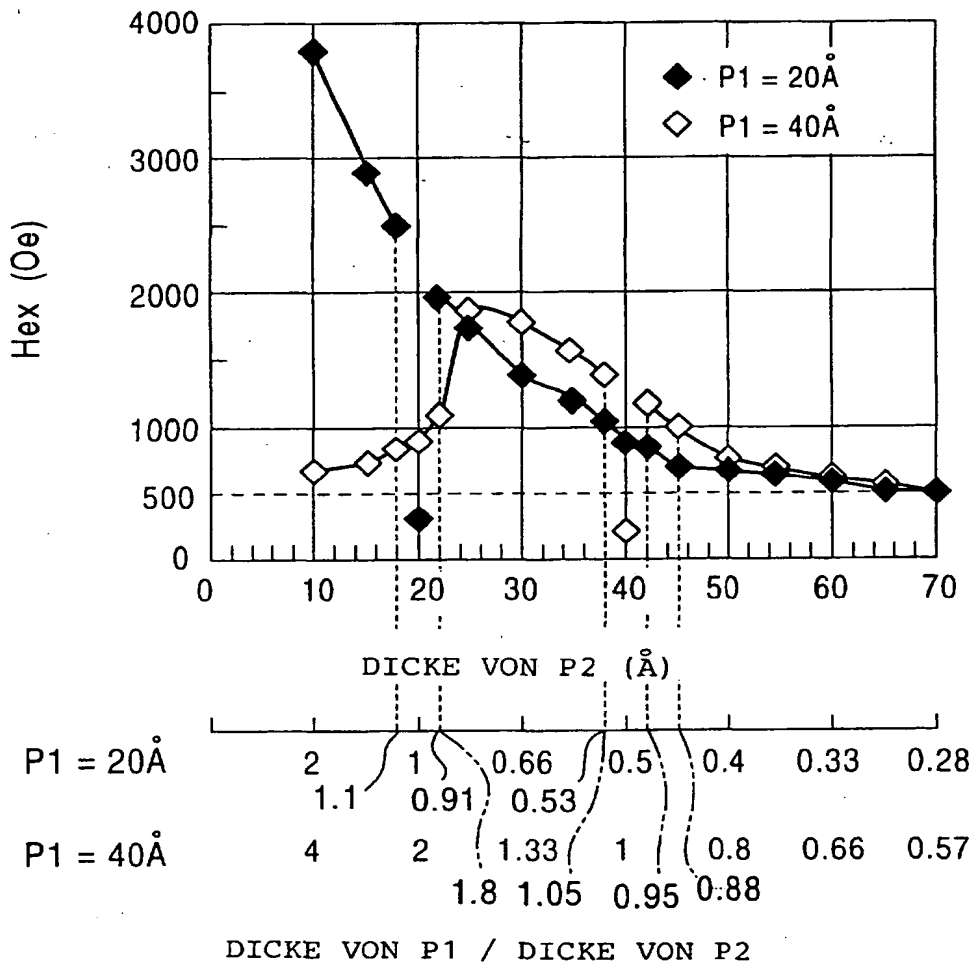


FIG. 15

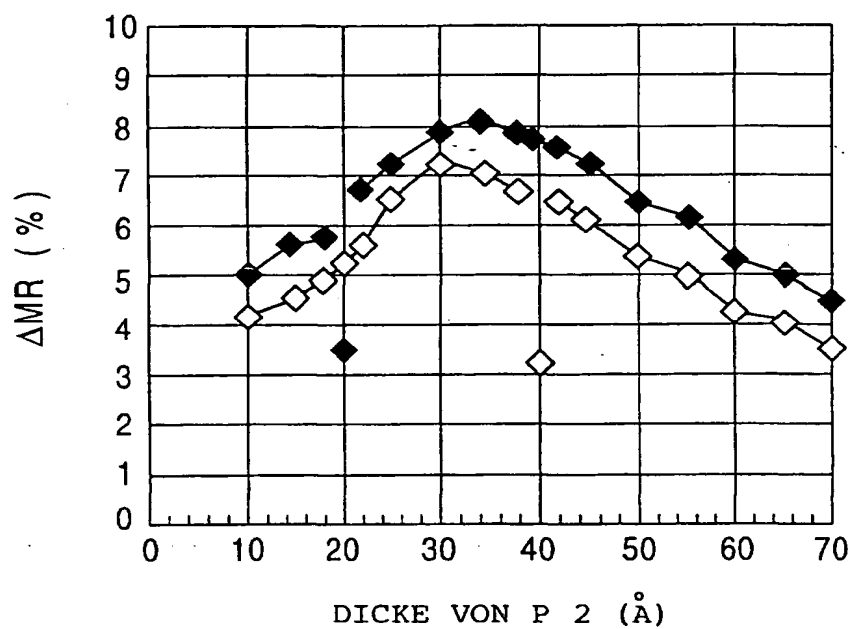


FIG. 16

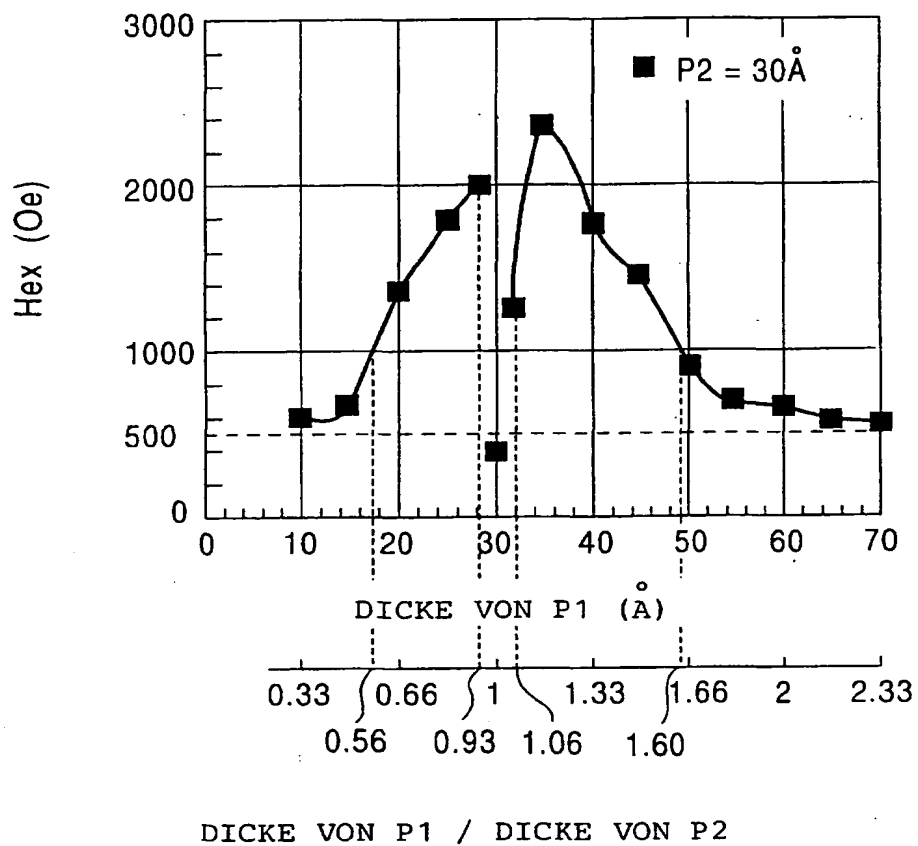


FIG. 17

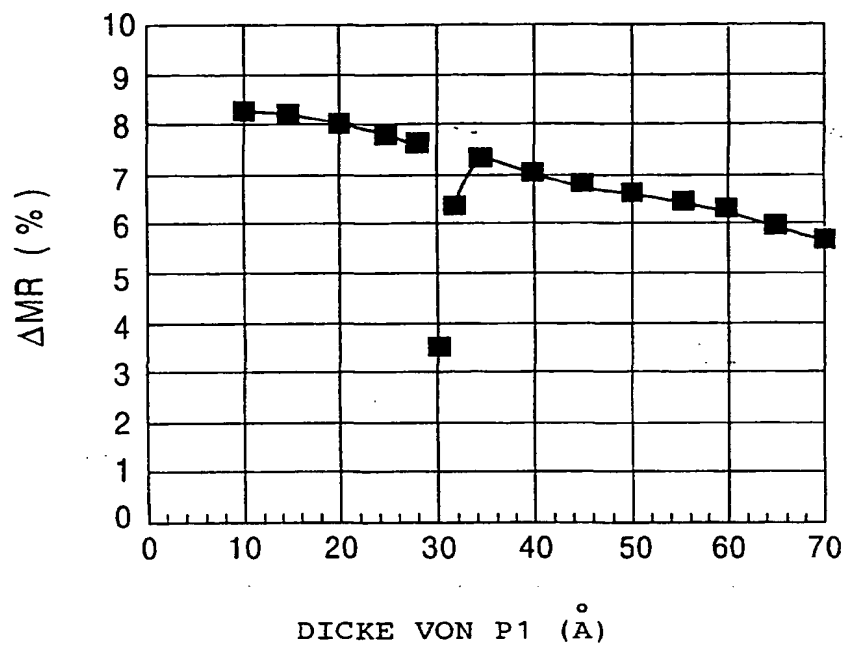


FIG. 18

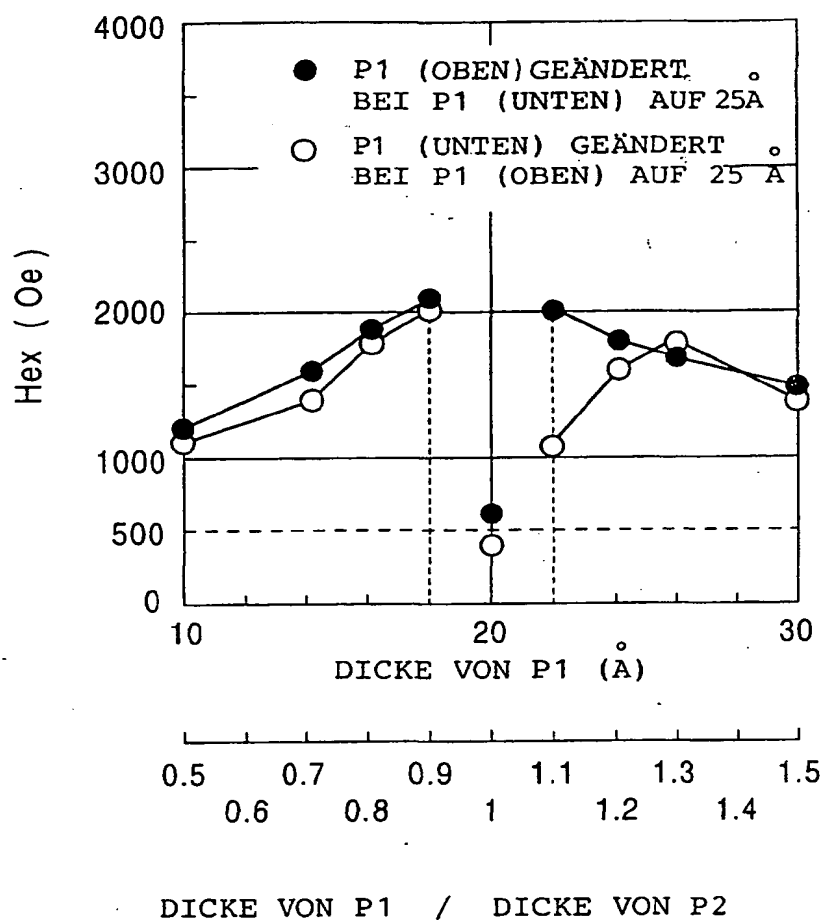


FIG. 19

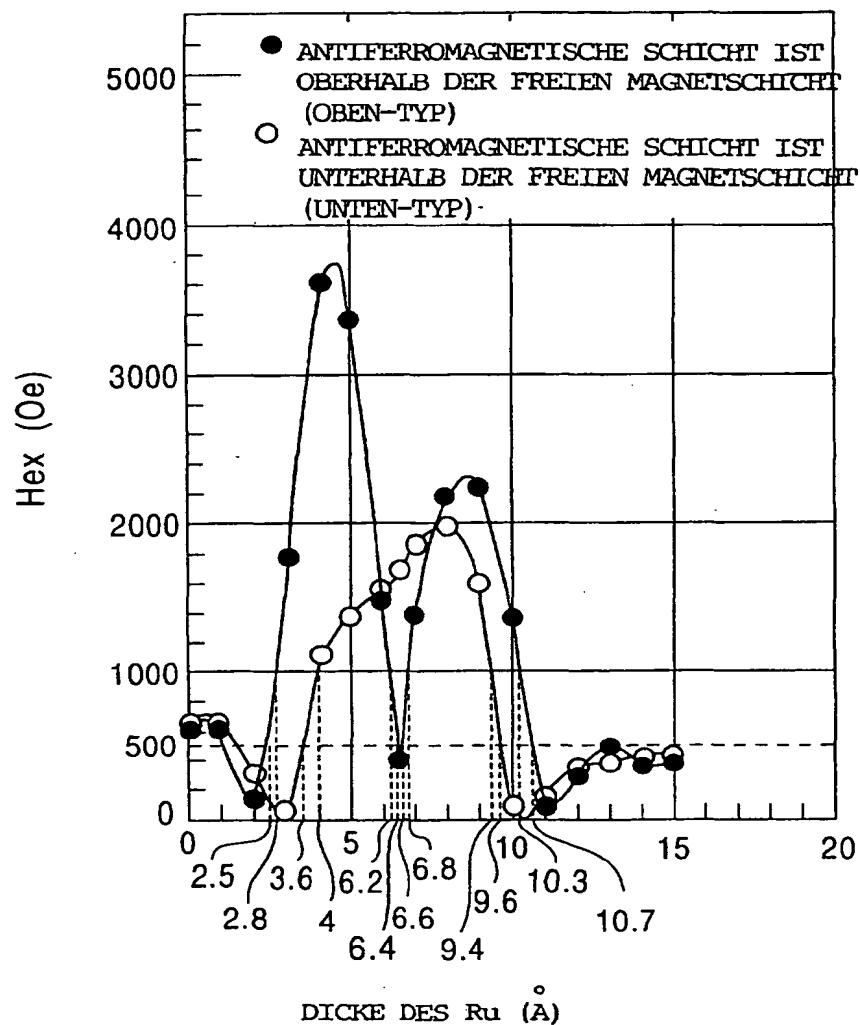


FIG. 20

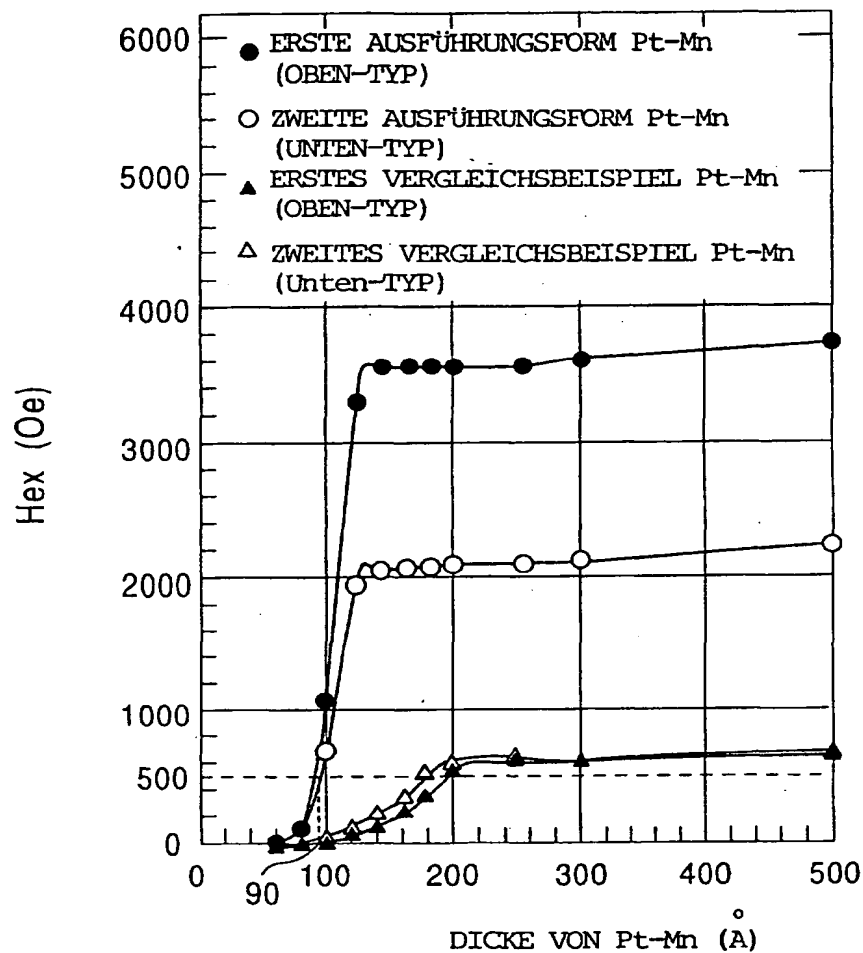




FIG. 21

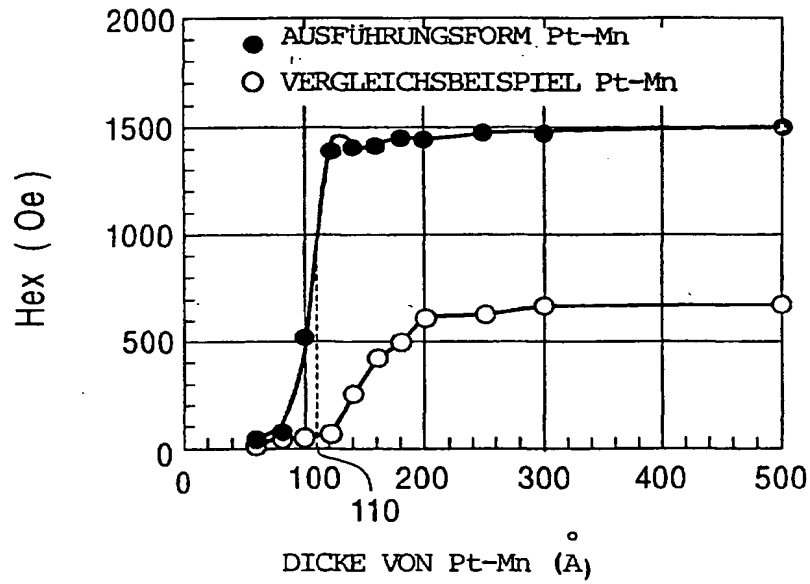


FIG. 22

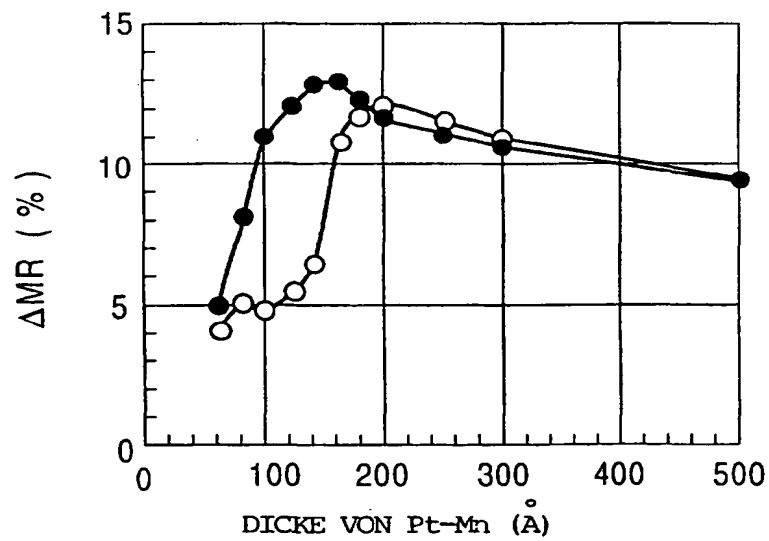


FIG. 23

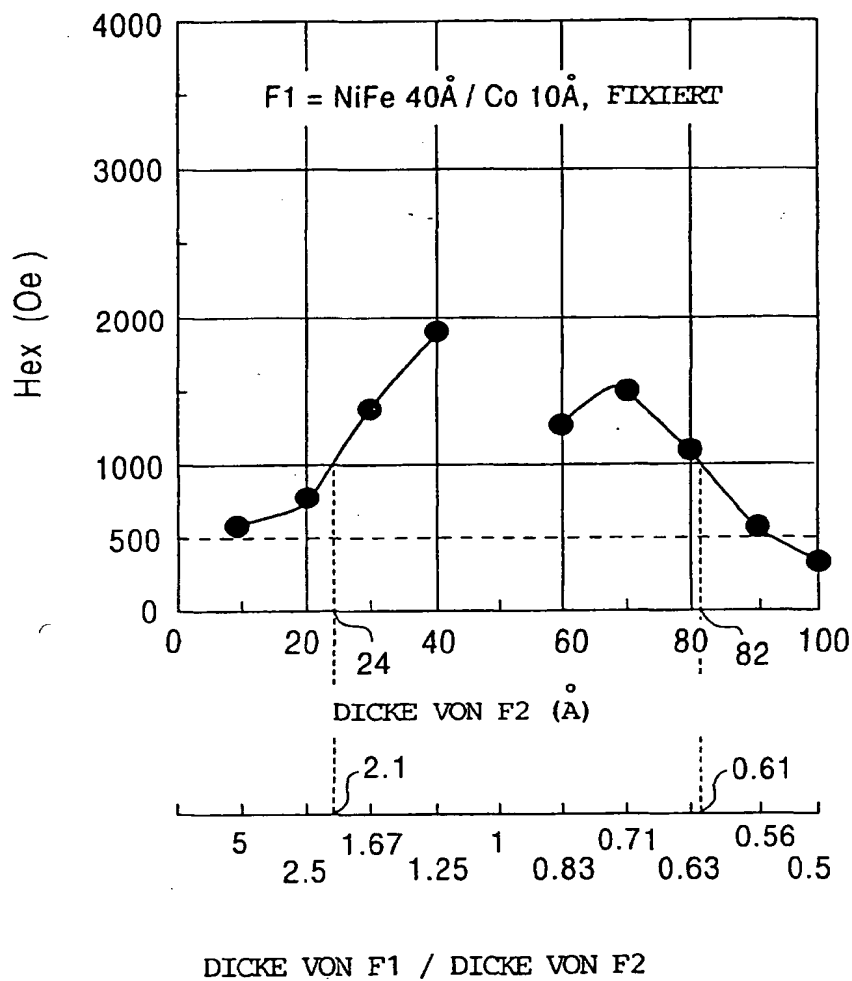


FIG. 24

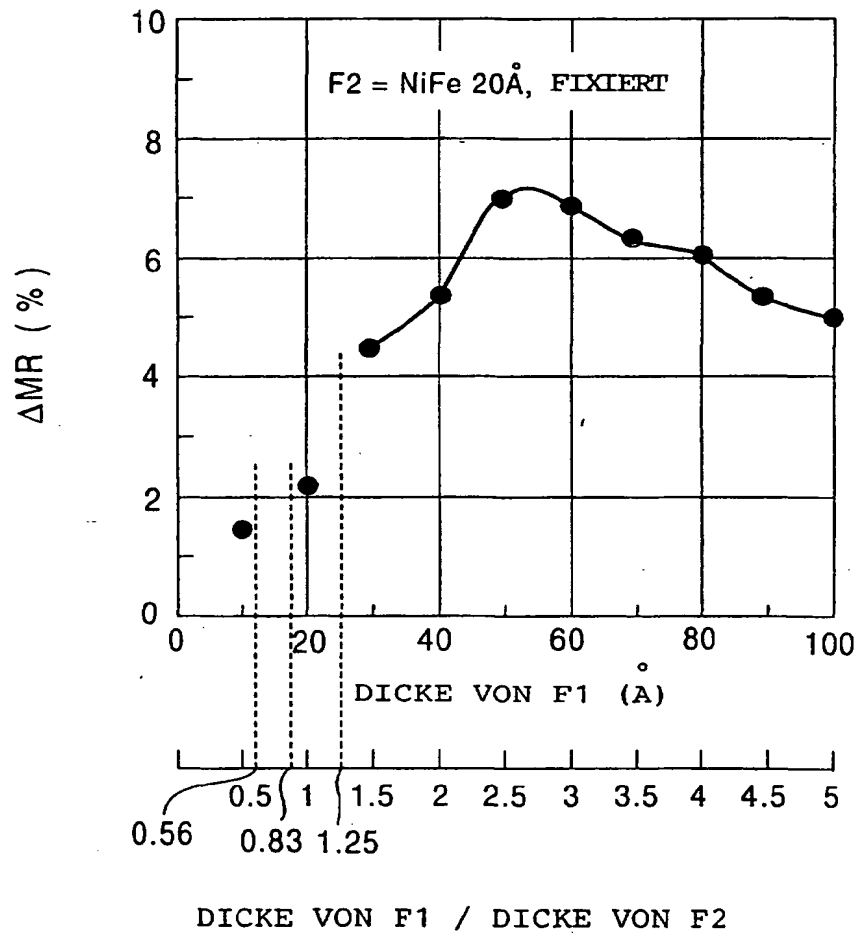


FIG. 25

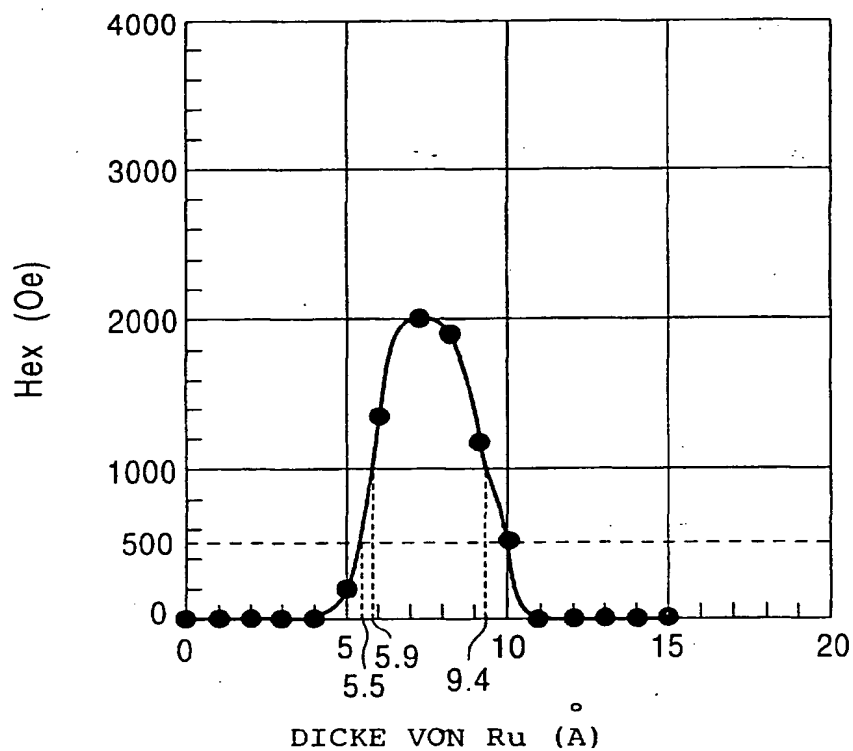


FIG. 26

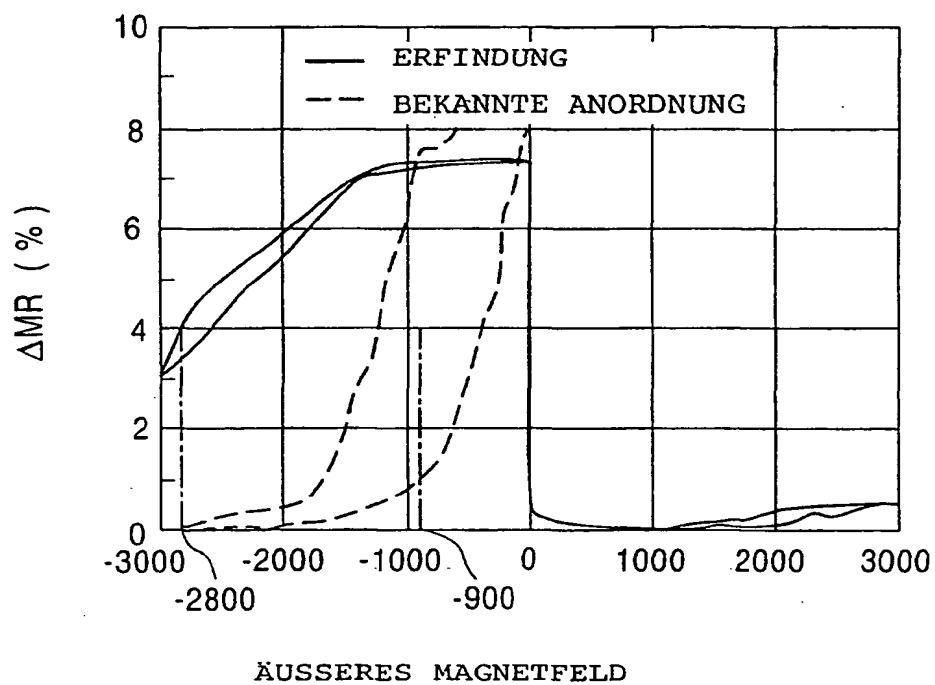


FIG. 27

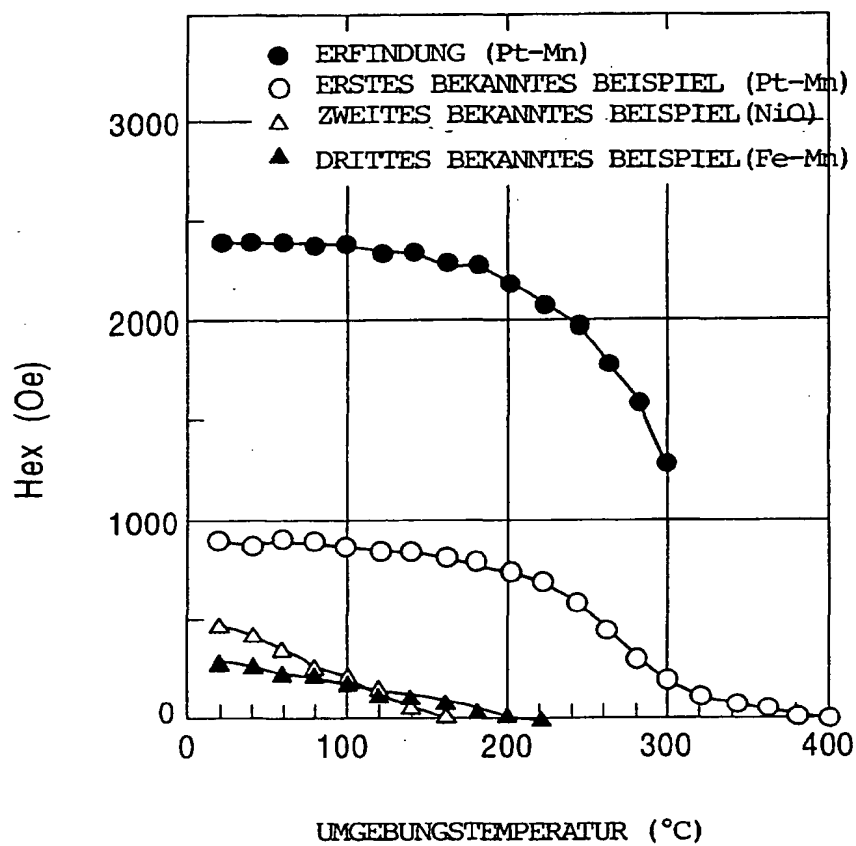


FIG. 28

STAND DER TECHNIK

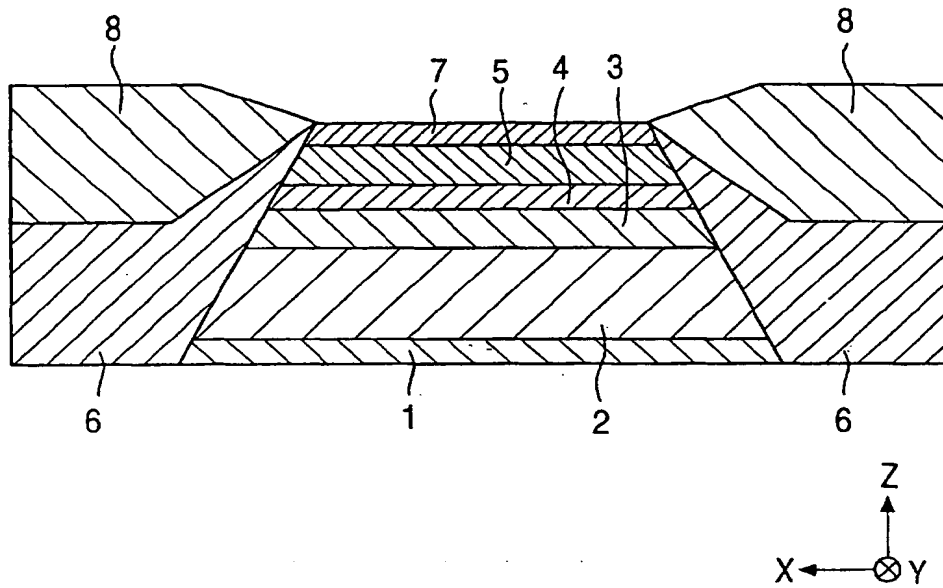


FIG. 29

STAND DER TECHNIK

